



TESIS - RC 185401

**ANALISIS UJI KETAHANAN DEFORMASI (*CREEP*)  
CAMPURAN ASPAL BETON DENGAN PENGGUNAAN  
*FLYASH* SEBAGAI AGREGAT BUATAN GEOPOLIMER  
UNTUK PERKERASAN *SURFACE RUNWAY***

**ANWAR EFENDY  
NRP. 03111750060017**

Dosen Pembimbing  
Ir. Ervina Ahyudanari, ME. Ph.D.

Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2019





TESIS - RC 185401

**ANALISIS UJI KETAHANAN DEFORMASI (*CREEP*)  
CAMPURAN ASPAL BETON DENGAN PENGGUNAAN  
*FLYASH* SEBAGAI AGREGAT BUATAN GEOPOLIMER  
UNTUK PERKERASAN *SURFACE RUNWAY***

**ANWAR EFENDY  
NRP. 03111750060017**

Dosen Pembimbing  
Ir. Ervina Ahyudanari, ME. Ph.D.

Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2019





**THESIS - RC 185401**

**ANALYSIS OF RESISTANCE DEFORMATION  
TEST (CREEP) MIXTURE OF ASPHALT CONCRETE  
USING FLYASH AS ARTIFICIAL AGGREGATE OF  
GEOPOLYMERS FOR SURFACE RUNWAY PAVEMENT**

**ANWAR EFENDY  
NRP. 03111750060017**

**Supervisor  
Ir. Ervina Ahyudanari, ME. Ph.D.**

**Departement of Civil Engineering  
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
2019**



## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Anwar Efendy**

**NRP. 03111750060011**

Tanggal Ujian : 27 Maret 2019

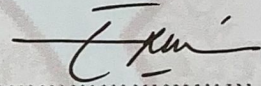
Periode Wisuda : September 2019

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

1. Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D

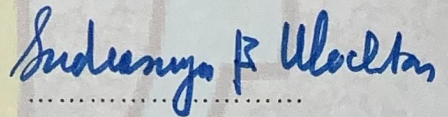
NIP. 19690224 199512 2 001



**Penguji:**

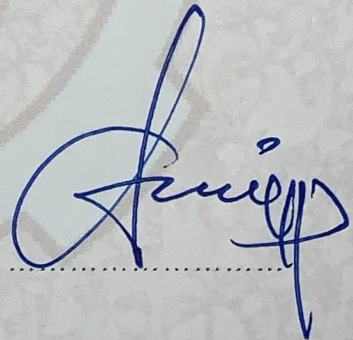
1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc, Ph.D

NIP. 19530408 197603 1 002



2. Dr. Catur Arif P, ST., M.Eng

NIP. 19700708 199802 1 001



Kepala Departemen Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan







**ANALISIS UJI KETAHANAN DEFORMASI (*CREEP*) CAMPURAN  
ASPAL BETON DENGAN PENGGUNAAN *FLYASH* SEBAGAI  
AGREGAT BUATAN GEOPOLIMER UNTUK PERKERASAN *SURFACE*  
*RUNWAY***

Nama Mahasiswa : Anwar Efendy  
NRP : 03111750060017  
Pembimbing : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D

**ABSTRAK**

Kerusakan yang terjadi pada perkerasan *runway* bandara salah satunya yaitu deformasi, yang menyebabkan lapis permukaan (*surface*) terjadi pengelupasan dan retak. Ketahanan deformasi (*Creep*) campuran aspal terkait dengan kekakuan campuran, dan dipengaruhi oleh temperatur dan waktu pembebanan secara signifikan. Ada beberapa faktor penyebab terjadinya deformasi pada *runway*, seperti adanya tekanan beban berulang yang disebabkan oleh antrian pesawat berukuran besar dan cuaca di Indonesia yang panas dan sering terjadi hujan. Agregat menjadi salah satu komponen terpenting dalam campuran aspal beton. Sehingga dibutuhkan ketersediaan agregat yang cukup banyak, mengingat pembangunan infrastruktur di Indonesia terus meningkat. Dengan demikian agregat yang tersedia di alam sudah mulai berkurang jumlahnya. Oleh sebab itu diperlukan inovasi material baru untuk mengatasi hal tersebut, seperti penggunaan *flyash* sebagai agregat buatan geopolimer pada campuran aspal beton.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa pengujian antara lain pengujian *Marshall* yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari campuran perkerasan agregat buatan dengan menggunakan gradasi rapat yang mengacu pada spesifikasi gradasi *Federal Aviation Administration* (FAA) dan gradasi terbuka oleh *Béton Bitumineux Aéronautiques* (BBA) dengan syarat spesifikasi dan karakteristik yang sesuai untuk perkerasan *runway* bandara, kemudian dilakukan pengujian ketahanan terhadap deformasi (*Creep*) pada campuran perkerasan agregat buatan gradasi terbuka (BBA) dengan menggunakan alat UTM30 *Dynapave*.

Berdasarkan hasil karakteristik dari pengujian *Marshall* diperoleh nilai kadar aspal optimum, dengan campuran gradasi FAA memiliki nilai KAO yang lebih rendah yaitu 5.1% dibanding nilai KAO pada campuran aspal dengan gradasi BBA sebesar 6.1%. Setelah dilakukan pengujian *Creep* dari variasi beban I (100 kPa), variasi beban II (400 kPa) dan variasi beban III (500 kPa) dengan pengulangan beban sebanyak 3600 kali pada temperatur suhu 60 °C diketahui bahwa nilai ketahanan deformasi dari masing-masing variasi beban berturut-turut adalah 7535,47µε (sampel belum runtuh), 93520µε (sampel runtuh pada cycle 1559x) dan 98476,97µε (sampel runtuh pada cycle 480x). Disimpulkan bahwa campuran perkerasan dengan agregat buatan bergradasi terbuka (BBA) pada KAO 6,1% tidak mampu menahan deformasi dalam jangka waktu yang cukup lama ketika diberikan beban 400 kPa dan 500 kPa.

**Kata Kunci : Perkerasan *runway*, *flyash*, agregat buatan geopolimer, karakteristik *Marshall*, KAO, uji *Creep***



**ANALYSIS OF RESISTANCE DEFORMATION TEST (CREEP) MIXTURE  
OF ASPHALT CONCRETE USING FLYASH AS ARTIFICIAL  
AGGREGATE OF GEOPOLYMERS FOR SURFACE RUNWAY  
PAVEMENT**

Student Name : Anwar Efendy  
Student Identity Number : 03111750060017  
Supervisor : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D

**ABSTRACT**

*Damage to the airport runway pavement is one of them is deformation, which causes the surface layer to occur flaking and cracking. Deformation resistance (Creep) of asphalt mixture is attendant with mixed stiffness, and is significantly affected by temperature and loading time. There are some factors that cause deformation on the runway, such as the pressure of repeated loads caused by large queues of aircraft and hot weather in Indonesia and frequent rain. The aggregate is one of the most important components in concrete asphalt mixture. So that there is a large extent of aggregate needed, considering that infrastructure development in Indonesia continues to increase. Thus the aggregate available in nature has begun to decrease in amount. Therefore, new material innovations are needed to overcome this, such as the use of flyash as an artificial aggregate of geopolymers in concrete asphalt mixtures.*

*This research was carried out in some tests including Marshall testing which intended to determine the characteristics of artificial aggregate pavement mixtures, using dense gradations that refer to the Federal Aviation Administration (FAA) gradation specifications and open gradations by Béton Bitumineux Aéronautiques (BBA) with specification requirements and characteristics that are suitable for airport runway pavement. Then testing the resistance to deformation (Creep) on the artificial gradation aggregate pavement mixture by using the UTM30 Dynapave.*

*Based on the characteristics of the Marshall test the optimum bitumen content value was obtained, with a mixture of dense gradations has a lower OBC value of 5.1% compared to the OBC value in an asphalt mixture with an open gradation of 6.1%. After testing Creep test from variations I with load (100 kPa), variations II with load (400 kPa) and variations III with (500 kPa) with repetition of loads as much as 3600 times at a temperature of 60° C it is known that the deformation resistance values of each load variation are 7535.47 $\mu\epsilon$  (sample has not collapsed), 93520 $\mu\epsilon$  (sample collapses at 1559x cycle) and 98476.97 $\mu\epsilon$  (sample collapses at cycle 480x). It was concluded that the pavement mixture with open-graded artificial aggregate (BBA) at 6.1% OBC was not able to survive deformation for quite a long time when given a load of 400 kPa and 500 kPa.*

**Kata Kunci : Runway Pavement, flyash, artificial aggregate of geopolymer, Marshall properties, OBC, Creep test**



## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT dan atas rahmat serta karuninya sehingga Tesis dengan judul “Analisis Uji Ketahanan Deformasi (*Creep*) Campuran Aspal Beton dengan Penggunaan *Flyash* sebagai Agregat Buatan Geopolimer untuk Perkerasan *Surface Runway*” dapat terselesaikan. Tesis ini diajukan sebagai syarat memperoleh gelar Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam terselesaikannya penyusunan Tesis ini antara lain:

1. Kedua Orang Tua saya tercintai yang selalu mendukung dan mendoakan saya disetiap lima waktunya.
2. Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D selaku dosen pembimbing Tesis.
3. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc, Ph.D. dan Dr. Catur Arif P, S.T, M.Eng selaku dosen penguji.
4. Keluarga besar saya yang telah memberikan doa dan dukungannya terus menerus kepada saya.
5. Petugas laboratorium perhubungan dan jalan ITS dan Unud yang telah banyak membantu pengujian dan memfasilitasi kebutuhan alat.
6. Para sahabat, kerabat yang telah memberikan dukungan kepada saya dan teman-teman seperjuangan dari Manajemen Rekayasa Transportasi 2017.
7. Semua pihak yang mmembantu dalam proses penyusunan Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Surabaya, Maret 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan Tesis .....	iii
Abstrak .....	v
<i>Abstract</i> .....	vii
Kata Pengantar .....	ix
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel .....	xiii
Daftar Gambar .....	xv

### BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang .....	1
1.2	Rumusan Masalah .....	7
1.3	Tujuan.....	7
1.4	Manfaat.....	8
1.5	Batasan Masalah.....	9

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Pendahuluan .....	11
2.2	Perkerasan Secara Umum.....	11
2.3	Perkerasan Runway Bandara.....	12
2.4	Agregat .....	13
2.5	Aspal.....	17
2.6	Lapis Aspal Beton (Laston/AC).....	18
2.7	Gradasi Agregat.....	20
2.8	Agregat Buatan Geopolimer.....	23
2.9	Granulasi .....	26
2.10	Ketahanan Deformasi (Creep).....	27

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Rancangan Penelitian.....	29
3.2	Studi Literatur .....	29
3.3	Tahapan Penelitian.....	29
3.3.1	Tahap Persiapan .....	29
3.3.2	Tahap Pembuatan Benda Uji.....	30
3.3.3	Tahap Pengujian Material .....	34
3.3.4	Tahap Analisa Data .....	51
3.4	Bagan Alir Metodologi Penelitian .....	53

### BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Pembuatan Agregat Buatan Geopolimer .....	55
4.2	Pengujian Material.....	57
4.2.1	Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70 .....	58
4.2.2	Pemeriksaan Agregat Kasar .....	58
4.2.3	Pemeriksaan Agregat Halus dan Filler.....	59
4.2.4	Agregat Buatan Geopolimer .....	59
4.3	Pembuatan Sampel dan Pengujian <i>Marshall</i> .....	60
4.3.1	Penentuan (Pb) dan Kebutuhan Agregat .....	61
4.3.2	Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	66
4.4	Analisis Data Pengujian <i>Marshall</i> .....	76
4.4.1	Stabilitas ( <i>Stability</i> ) .....	77
4.4.2	Kelelehan ( <i>Flow</i> ).....	78
4.4.3	Target Air Voids (VIM) .....	79
4.4.4	Rongga Dalam Campuran ( <i>Voids in Mineral Aggregate</i> ).....	80
4.4.5	Rongga Terisi Aspal ( <i>Voids Filled Bitumen</i> ) .....	81
4.4.6	<i>Marshall Quotient (MQ)</i> .....	82



4.4.7	Kadar Aspal Optimum (KAO).....	83
4.4.8	Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> ( <i>Immersion Test</i> ) .....	84
4.5	Pembuatan Sampel dan Pengujian Creep.....	85
4.5.1	Penentuan Nilai Ketahanan Deformasi.....	86
4.6	Diskusi (Stabilitas <i>Marshall</i> dan Ketahanan Deformasi).....	93
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	97
5.2	Saran.....	98
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN-LAMPIRAN		
BIOGRAFI PENULIS		



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Daftar Sebaran PLTU di Indonesia .....	4
Tabel 2.1 Batas-Batas Gradasi Agregat Kasar .....	14
Tabel 2.2 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus .....	15
Tabel 2.3 Spesifikasi Gradasi Agregat dari FAA dan BBA (Perkerasan Bandara) .....	21
Tabel 3.1 Perhitungan Berat Material yang Dibutuhkan pada Gradasi FAA .....	32
Tabel 3.2 Perhitungan Berat Material yang Dibutuhkan pada Gradasi BBA .....	32
Tabel 3.3 Ketentuan untuk Aspal Penetrasi 60/70 .....	36
Tabel 3.4 Ketentuan Agregat Kasar .....	37
Tabel 3.5 Ketentuan Agregat Halus .....	38
Tabel 3.6 Ketentuan Bahan Pengisi Filler .....	39
Tabel 3.7 Kebutuhan Benda Uji untuk Pengujian <i>Marshall</i> .....	41
Tabel 3.8 Angka Koreksi pada Perhitungan <i>Marshall</i> .....	43
Tabel 3.9 Persyaratan Campuran Laston untuk Bandara .....	45
Tabel 3.10 Persyaratan Campuran Laston untuk Bandara oleh Kemenhub .....	46
Tabel 3.11 Kebutuhan Benda Uji untuk Pengujian Perendaman .....	47
Tabel 3.12 Standar Seting Parameter Uji <i>Creep</i> .....	49
Tabel 3.13 Rekapitulasi Jumlah Kebutuhan Benda Uji .....	52
Tabel 4.1 Kebutuhan Agregat Buatan Geopolimer Gradasi FAA .....	56
Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Buatan Geopolimer Gradasi BBA .....	56
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Aspal pen. 60/70 .....	58
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Agregat Kasar .....	58
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Agregat Halus dan Filler .....	59
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Agregat Buatan Geopolimer .....	60
Tabel 4.7 Kebutuhan Agregat untuk Gradasi FAA .....	61
Tabel 4.8 Kebutuhan Agregat untuk Gradasi BBA .....	62
Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian <i>Marshall</i> .....	63
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Karakteristik Campuran Gradasi FAA .....	66
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Karakteristik Campuran Gradasi BBA .....	71

Tabel 4.12 Data Bacaan Hasil Pengujian Perendaman .....	84
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Perendaman .....	84
Tabel 4.14 Hasil Pengujian Ketahanan Deformasi Variasi I .....	86
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Ketahanan Deformasi Variasi II .....	88
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Ketahanan Deformasi Variasi III .....	91
Tabel 4.17 Daftar Pesawat dengan Beban dibawah 500 kPa .....	94

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Fishbone Diagram .....	5
Gambar 2.1 Grafik Gradasi Rapat (FAA) .....	22
Gambar 2.2 Grafik Gradasi Rapat (BBA) .....	22
Gambar 3.1 Mesin Granulator .....	31
Gambar 3.2 Konfigurasi Uji Creep .....	47
Gambar 3.3 Perangkat alat UTM30 <i>Dynapave</i> .....	51
Gambar 3.4 Bagan Alir Penelitian .....	53
Gambar 4.1 Pembuatan Agregat Buatan Geopolimer .....	55
Gambar 4.2 Pembuatan Sampel Benda Uji .....	61
Gambar 4.3 Grafik Penentuan KAO Gradasi FAA Rata-Rata .....	67
Gambar 4.4 Grafik Penentuan KAO Gradasi FAA Sampel 1 .....	68
Gambar 4.5 Grafik Penentuan KAO Gradasi FAA Sampel 2 .....	69
Gambar 4.6 Grafik Penentuan KAO Gradasi FAA Sampel 3 .....	70
Gambar 4.7 Grafik Penentuan KAO Gradasi BBA Rata-Rata .....	72
Gambar 4.8 Grafik Penentuan KAO Gradasi BBA Sampel 1 .....	73
Gambar 4.9 Grafik Penentuan KAO Gradasi BBA Sampel 2 .....	74
Gambar 4.10 Grafik Penentuan KAO Gradasi BBA Sampel 3 .....	75
Gambar 4.11 Hubungan Stabilitas vs Kadar Aspal .....	77
Gambar 4.12 Hubungan Flow vs Kadar Aspal .....	78
Gambar 4.13 Hubungan VIM vs Kadar Aspal .....	79
Gambar 4.14 Hubungan VMA vs Kadar Aspal .....	80
Gambar 4.15 Hubungan VFB vs Kadar Aspal .....	82
Gambar 4.16 Hubungan MQ vs Kadar Aspal .....	83
Gambar 4.17 Perbandingan Nilai KAO .....	83
Gambar 4.18 Pengulangan beban (100 kPa) vs Regangan .....	87
Gambar 4.19 Pengulangan beban (100 kPa) vs Kekakuan .....	87
Gambar 4.20 Pengulangan beban (400 kPa) vs Regangan .....	89
Gambar 4.21 Pengulangan beban (400 kPa) vs Kekakuan .....	89
Gambar 4.22 Pengulangan beban (500 kPa) vs Regangan .....	91
Gambar 4.23 Pengulangan beban (500 kPa) vs Kekakuan .....	92

Gambar 4.24 Tipe-Tipe Pesawat dengan Tire Pressure < 72,52 psi .....	94
Gambar 4.25 Benda Uji Mengalami Keruntuhan .....	95

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki bandar udara sipil sebanyak 237 bandara dengan 26 bandara yang mampu didarati oleh pesawat berbadan lebar, sehingga sekitar 89% landas pacu di bandar udara di Indonesia dibangun untuk melayani pesawat kecil dengan bobot sekitar 20 ton sampai dengan 40 ton (Seno, 2015).

Menurut Kementerian Perhubungan (2016) saat ini di Indonesia, salah satu infrastruktur transportasi yang dipercepat proses pembangunannya adalah bandara. Kementerian Perhubungan telah menargetkan pembangunan dan pengembangan bandara baru di 15 lokasi yang tersebar di seluruh Indonesia dan ditargetkan selesai pada tahun 2019. Daftar lengkap dari 15 bandara yang akan dibangun antara lain di Anambas, Tambelan, Tebelian, Enggano, Miangas, Morowali, Buntu Kunik, Kufar, Namniwei, Pantar, Moa, Segun, Sinak, Korowai dan Manggelum. Pembangunan dan pengembangan bandara ini akan difokuskan pada wilayah-wilayah terluar dan perbatasan Indonesia. Lokasi seperti Kepulauan Anambas (Provinsi Kepulauan Riau) ataupun Pulau Miangas (Provinsi Sulawesi Utara) yang terletak di perbatasan Indonesia - Filipina adalah titik yang diprioritaskan dan juga daerah timur Indonesia seperti Maluku dan Papua.

Adapun salah satu bagian terpenting dari bandara ialah yang terdapat pada sisi udara yaitu landasan pacu. Landasan pacu atau *runway* merupakan infrastruktur yang berfungsi sebagai landasan pesawat terbang melakukan lepas landas dan pendaratan. Sebagai infrastruktur yang digunakan untuk akses utama pesawat terbang dalam melakukan pergerakan, kualitas *runway* diharapkan dapat memberikan kenyamanan dan keselamatan penerbangan. Oleh sebab itu, diperlukan komposisi material yang mampu menghasilkan kinerja perkerasan lentur yang memberikan umur layanan yang lebih lama untuk *runway* bandara (Wahyudi, 2017). Agregat menjadi komponen penting dalam perencanaan

perkerasan lentur, hal ini menjadi salah satu sebab keberagaman karakteristik kualitas perkerasan lentur bandara di Indonesia.

Kerusakan yang terjadi pada perkerasan lentur salah satunya yaitu deformasi. Menurut Thom (2008) salah satu dari prinsip dasar perkerasan itu adalah pada setiap lapisan perkerasan harus mampu menahan agar tidak terjadi deformasi. Adapun faktor yang menyebabkan terjadinya deformasi yaitu iklim/cuaca dan adanya beban lalu lintas berlebih. Deformasi yaitu perubahan permukaan jalan dari profil aslinya yang merupakan kerusakan penting karena mempengaruhi kualitas kenyamanan lalu lintas dan mencerminkan kerusakan struktur perkerasan (Christady, 2007). Sedangkan menurut Dandamanu (2003) deformasi merupakan salah satu jenis kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh pengulangan beban lalu lintas berat pada kondisi temperatur yang tinggi.

Faktor iklim/cuaca di Indonesia yang panas dan sering terjadinya hujan dapat mempengaruhi lapis perkerasan *runway*. Pada saat pemanasan aspal terjadi oksidasi/penguapan fraksi ringan sehingga terjadi pengerasan aspal, oksidasi terjadi pada tebal lapisan 5 micron sehingga apabila lapisan aspal sama atau hanya sedikit lebih besar dari 5 micron maka aspal akan cepat menjadi lapuk yang pada akhirnya mudah terjadi deformasi antara lain pengelupasan dan retak (Suroso, 2008).

Menurut Setyarini (2017), adanya pertumbuhan penumpang yang semakin pesat dapat mempengaruhi pergerakan di sisi udara dan sisi darat bandara semakin padat, sedangkan kapasitas sisi darat dan sisi udara mempunyai keterbatasan dalam melayani pergerakan pesawat dan penumpang. Dampak dari ketidakseimbangan antara kondisi eksisting dengan kapasitas riil adalah sering terjadi antrian baik di sisi darat maupun di sisi udara pesawat. Dan secara otomatis akan mempengaruhi ukuran pesawat yang disebabkan oleh *demand* penumpang, maka dari itu setiap tahun ukuran pesawat bertambah besar sehingga mempengaruhi struktur lapisan perkerasan *runway* akibat dari pembebanan pesawat (Roesler, 2017).

Tingginya pergerakan penerbangan yang tidak diikuti dengan pemeliharaan fungsional perkerasan landasan akan memperpendek umur landasan. Pemeliharaan yang dilakukan pada *runway* bandara salah satunya yaitu pekerjaan *overlay*. Padatnya aktifitas lalu lintas di bandar udara menyebabkan pekerjaan *overlay* tidak dapat selalu dilakukan dikarenakan kegiatan *overlay* yang dikerjakan



pada sisi *runway* dapat menghambat kegiatan operasional bandara. Oleh karena itu, frekuensi pekerjaan *overlay* harus direncanakan dengan baik agar kegiatan ini dapat dilakukan secara efisien dan tidak terlalu sering mengganggu kegiatan operasional dari bandara (Kristiawan, 2017). Tidak hanya itu, terganggunya kegiatan operasional bandara akan menyebabkan *delay*/penundaan. Penundaan jadwal keberangkatan dan kedatangan pesawat menimbulkan efek domino untuk penerbangan berikutnya karena dipastikan akan merembet ke semua rute yang terkait (Pudjobroto, 2014).

Perkembangan infrastruktur di Indonesia semakin meningkat dan hal ini dibarengi dengan eksploitasi sumber daya alam yang ada khususnya agregat sebagai material utama dalam pekerjaan konstruksi. Agregat adalah salah satu bahan baku yang dihasilkan dari eksplorasi batu alam. Menurut GM Angkasa Pura I Bandara A Yani Semarang Kolonel CPN Maryanto (2017), penggunaan agregat alam yang sesuai spesifikasi desain perkerasan mulai langka, disebabkan oleh banyaknya proyek pembagunan yang ada di Indonesia. Akses untuk mendapatkan agregat alam ini juga sangat sulit dan belum tentu tersedia disemua wilayah. Hal inilah yang merupakan salah satu faktor pendorong untuk ditemukannya bahan alternatif lain, seperti penggunaan *flyash* sebagai agregat buatan geopolimer yang dapat dijadikan filler dalam campuran aspal beton (Abdullah, 2017).

*Flyash* adalah material sisa pembakaran batu bara yang berdampak buruk terhadap lingkungan yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Menurut laporan teknik PT. PLN (Persero) tahun 1997, di Indonesia produksi limbah abu terbang dan abu dasar dari PLTU diperkirakan akan mencapai 2 juta ton pada tahun 2006, dan meningkat menjadi hampir 3.3 juta ton pada tahun 2009. Khusus untuk PLTU Suralaya, sejak tahun 2000 hingga 2006 diperkirakan ada akumulasi jumlah abu sebanyak 219,000 ton per tahun. Menurut Direktur Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2016), kebutuhan batu bara saat ini sebesar 87,7 juta ton untuk PLTU batu bara. Jumlah ini meningkat seiring dengan adanya program 35 ribu MW, sehingga pada 2019 diperkirakan kebutuhan batu bara meningkat menjadi 166,2 juta ton. Jika limbah abu batu bara *flyash* dan *battomash* dihasilkan sekitar 5%, maka limbah yang dihasilkan mencapai 8,31 juta ton pada tahun 2019.

Berikut adalah daftar sebaran PLTU yang berada di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Daftar Sebaran PLTU di Indonesia

NO	NAMA	LOKASI	KAPASITAS	JENIS DAN JUMLAH PEMBANGKIT
1	PLTU Asam-Asam	Desa Asam-asam, Kecamatan Jorong, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan	4 x 65 MW	Unit I,II,III dan IX, 4 unit 260 MW
2	PLTU Cilacap	Kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah	1469 MW	PLTU 700 MW
3	PLTU Embalut	Kecamatan Tenggara, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur	2 x 25 & 1 x 60 MW	PLTU total 3 unit 110 MW
4	PLTU Karangandri	Kecamatan Kesugihan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah	1469 MW	PLTU 600 MW
5	PLTU Lati	Kabupaten Berau, Kalimantan Timur	2 x 7 MW	1 PLTU
6	PLTU Lau Renun	Sumatera Utara	2 x 41 MW	PLTA total 2 unit 82 MW
7	PLTU Paiton Swasta I	Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur	1230 MW	2 PLTU
8	PLTU Paiton Swasta II	Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur	1300 MW	2 PLTU
9	PLTU Priok	Jakarta Utara, DKI Jakarta	1384 MW	PLTU, PLTGU
10	PLTU PT Krakatau Daya Listrik	Cilegon, Banten	400 MW	5 PLTU
11	PLTU Punggur	Kepulauan Riau, Batam	2X55 MW	PLTU, PLTGU
12	PLTU Semarang	Semarang Utara, Kota Semarang, Jawa Tengah	1469 MW	PLTA,PLTGU 1469 MW
13	PLTU Suralaya	Kecamatan Pulo Merak, Kota Cilegon, Banten	4 x 400 MW;3 x 600 MW	PLTU total 7 unit 3.400 MW
14	PLTU Tarahan	Kecamatan Katibung, Lampung Selatan, Lampung	2 x 100 MW	Unit III dan IV

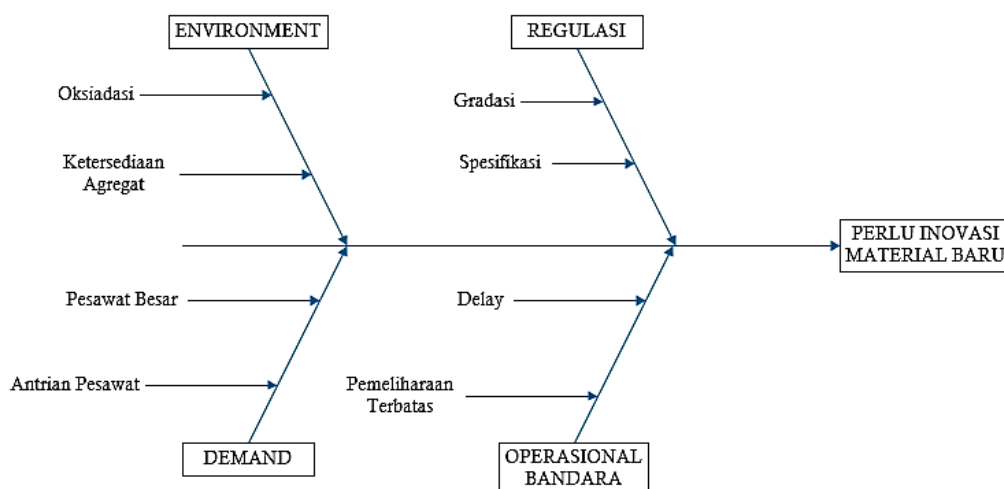
Sumber: (PT. PLN Persero, 2015).

Pengendalian zat berbahaya didalam *flyash* dapat dilakukan dengan geopolimerisasi. Bahwa dengan proses geopolimerisasi, *flyash* akan membentuk semacam penghalang untuk menjebak boron di dalam *flyash*. Boron adalah unsur dalam *flyash* yang dapat menimbulkan bahaya bagi manusia dan tanaman jika konsentrasi dialam cukup tinggi. Dengan proses geopolimerisasi, konsentris boron tersebut akan menjadi aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup (Ekaputri, 2011). Adapun penelitian terdahulu yang pernah dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh Nopember terkait dengan penggunaan *flyash* dilakukan oleh Sudrajat, Soemitro, Budianto, & Ekaputri (2016) dengan

tujuan penelitian yaitu membuat agregat buatan berbahan dasar *flyash* sebagai material konstruksi perkerasan jalan, maka dari itu penelitian ini dicoba membuat agregat buatan geopolimer berbahan dasar *flyash* untuk perkerasan *runway*.

Gradasi agregat merupakan faktor yang sangat menentukan kinerja perkerasan aspal beton (Sukirman, 2007). Gradasi pada struktur perkerasan sangat berpengaruh terhadap karakteristik perkerasan. Adapun regulasi dari penelitian ini yaitu, penggunaan agregat buatan digunakan khusus pada agregat kasar saja dengan proporsi agregat alam sebesar 75% dan agregat buatan 25%. Hal ini dilakukan karena pada susunan gradasi, kebutuhan agregat kasar lebih banyak daripada kebutuhan agregat halus. Sedangkan untuk komposisi campuran yang digunakan yaitu 75% *flyash* dan 25% alkali aktivator dengan rasio 1 (NaOH) : 2,5 (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Gradasi yang digunakan yaitu gradasi rapat sesuai spesifikasi FAA (*Federal Aviation Administration*) dan gradasi terbuka sesuai spesifikasi BBA (*Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques*). Menurut Widyatmoko (2008) gradasi terbuka yaitu gradasi yang memiliki daya tahan yang lebih kuat dan mampu mengurangi ketebalan lapisan sekitar 15%. Sedangkan gradasi rapat menurut Joubert (2004) merupakan gradasi yang sangat baik, daya tahannya bagus tetapi memerlukan waktu pemeliharaan yang lebih sering dengan biaya yang tidak sedikit.

Adapun poin penting yang melatarbelakangi penelitian ini, telah dicantumkan dalam Fishbone Diagram seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Fishbone Diagram

Berdasarkan latar belakang diatas maka diperlukan inovasi baru seperti pemanfaatan *flyash* sebagai agregat buatan untuk mengatasi kurangnya ketersediaan agregat alam di Indonesia. Untuk mengetahui nilai propertis campuran aspal beton dengan penggunaan *flyash* sebagai agregat buatan geopolimer dengan menggunakan gradasi dari FAA dan BBA dilakukan pengujian *Marshall*. Pengujian agregat buatan dengan gradasi FAA dan BBA merupakan hasil kolaborasi dengan dua penelitian sebelumnya yaitu terkait Fatigue (Widayanti, 2019) dan Modulus Kekakuan (Baskara, 2019). Selain itu, pengujian *Marshall* dilakukan untuk menentukan nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) dari gradasi FAA dan BBA yang selanjutnya dilakukan pengujian *Creep*.

Ketahanan deformasi (*Creep*) campuran aspal terkait dengan kekakuan campuran, dipengaruhi oleh temperatur dan waktu pembebanan secara signifikan. Selain faktor ini ada beberapa variabel lain yang berperan diantaranya tingkat penetrasi aspal, gradasi agregat, bentuk dan tekstur agregat, derajat penguncian agregat dan tingkat pemadatan (Whitoeak, 1991).

Pengujian *Creep* ini menjadi penting dilakukan karena adanya faktor iklim/cuaca, mengingat semakin hari temperatur di Indonesia kian meningkat dimana temperatur perkerasan saat ini samadengan 2 kali temperatur udara yaitu sekitar 60°C. Bertambahnya frekuensi penerbangan di Indonesia juga memberikan efek terhadap perkerasan *runway* karena, ukuran pesawat yang bertambah besar untuk melayani *demand* penumpang yang tinggi sehingga tekanan beban pesawat yang melintasi *runway* berulang kali mempengaruhi perkerasan *runway*.

Setelah mendapatkan nilai KAO berikutnya dilakukan pengujian *Creep*, yang dimana pengujian *Creep* ini sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh Thanaya (2016) dengan tujuan penelitiannya yaitu untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC pada KAO dengan penambahan variasi lateks untuk perkerasan jalan. Pengujian *Creep* dengan menggunakan agregat buatan geopolimer untuk perkerasan *runway* belum pernah dilakukan sebelumnya. Untuk itu, pengujian *Creep* pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai ketahanan terhadap deformasi pada lapis permukaan perkerasan (*surface*) *runway* khususnya pada gradasi BBA berdasarkan nilai KAO dari pengujian *Marshall*. Sehingga diketahui

seberapa besar bobot pesawat yang mampu dilalui oleh campuran aspal beton dengan penggunaan *flyash* sebagai agregat buatan geopolimer ini.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pertumbuhan penumpang pesawat yang meningkat akan mempengaruhi ukuran dari pesawat, yang mengakibatkan perlu adanya perkerasan yang memiliki umur layanan yang lebih lama untuk mengatasi hal tersebut agar tidak mudah terjadi deformasi. Akan tetapi perkerasan tersebut membutuhkan agregat sebagai komposisi campurannya, seperti kebutuhan agregat alam. Agregat alam di Indonesia kini mulai berkurang, maka dari itu dibutuhkan inovasi baru seperti penggunaan agregat buatan geopolimer berbahan dasar *flyash* untuk campuran aspal beton. Oleh karena itu, detail permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai propertis campuran aspal beton dengan menggunakan agregat buatan dan agregat alam untuk gradasi rapat menggunakan spesifikasi FAA (*Federal Aviation Administration*) dan gradasi terbuka menggunakan spesifikasi BBA (*Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques*)?
2. Bagaimana nilai kadar aspal optimum campuran aspal beton dengan bahan agregat buatan geopolimer?
3. Bagaimana nilai ketahanan deformasi (*Creep*) campuran aspal beton dengan menggunakan agregat buatan dan agregat alam untuk gradasi terbuka menggunakan spesifikasi BBA (*Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques*) berdasarkan nilai Kadar Aspal Optimum?

## 1.3 Tujuan

Kerusakan pada perkerasan lentur salah satunya ialah deformasi, yang disebabkan oleh tingginya temperatur dan beban berulang yang diberikan oleh pesawat. Agregat buatan geopolimer berbahan dasar *flyash* menjadi alternatif untuk campuran aspal beton pada penelitian ini. Berdasarkan dari latar belakang diatas maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui nilai propertis campuran aspal beton dengan menggunakan agregat buatan dan agregat alam untuk gradasi rapat menggunakan spesifikasi FAA

(*Federal Aviation Administration*) dan gradasi terbuka menggunakan spesifikasi BBA (Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques).

2. Mengetahui nilai kadar aspal optimum campuran aspal beton dengan bahan agregat buatan geopolimer.
3. Mengetahui nilai ketahanan deformasi (*Creep*) campuran aspal beton dengan menggunakan agregat buatan dan agregat alam untuk gradasi terbuka menggunakan spesifikasi BBA (Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques) berdasarkan nilai Kadar Aspal Optimum.

#### **1.4 Manfaat**

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mendapatkan pemahaman mengenai nilai propertis campuran aspal beton dengan menggunakan agregat buatan dan agregat alam untuk gradasi rapat menggunakan spesifikasi FAA (*Federal Aviation Administration*) dan gradasi terbuka menggunakan spesifikasi BBA (Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques).
2. Mendapatkan pemahaman mengenai nilai kadar aspal optimum campuran aspal beton dengan bahan agregat buatan geopolimer.
3. Mendapatkan pemahaman mengenai nilai ketahanan deformasi (*Creep*) campuran aspal beton dengan menggunakan agregat buatan dan agregat alam untuk gradasi terbuka menggunakan spesifikasi BBA (Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques) berdasarkan nilai Kadar Aspal Optimum.
4. Memberikan alternatif dalam pengolahan limbah batu bara (*flyash*) untuk digunakan sebagai perkerasan lentur runway bandara.
5. Memberikan alternatif untuk menggunakan material campuran aspal beton berbahan agregat buatan geopolimer demi mengurangi penggunaan agregat alam yang semakin sedikit jumlahnya.

## 1.5 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan, pada penelitian ini diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan hanya sebatas uji laboratorium.
2. Aspal yang digunakan penetrasi 60/70.
3. Geopolimer yang digunakan adalah *flyash* batu bara dan alkali aktivator yang terdiri dari larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$ .
4. Proporsi perbandingan agregat yang digunakan pada agregat kasar adalah 75% agregat alam dan 25% agregat buatan.
5. Gradasi yang digunakan adalah gradasi rapat sesuai dengan spesifikasi *Federal Aviation Administration* dan gradasi terbuka sesuai spesifikasi BBA (*Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques*) untuk perkerasan bandara.
6. Temperatur perkerasan yang digunakan saat pengujian Ketahanan Deformasi (*Creep*) yaitu 60 °C, digunakan untuk mewakili suhu ekstrim di Indonesia.
7. Uji Ketahanan Deformasi (*Creep*) akan dilakukan secara Dinamis dan hanya gradasi BBA yang akan dilakukan pengujian *Creep*.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pendahuluan**

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal beton dengan penggunaan *flyash* pada agregat buatan geopolimer dan nilai ketahanan deformasi (*Creep*) menggunakan gradasi terbuka sesuai spesifikasi BBA (Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques) pada perkerasan runway bandara. Agregat buatan dipilih sebagai alternatif ketika agregat alam seperti pasir alami dan kerikil sulit didapatkan karena lokasinya yang sulit untuk dijangkau dan sudah mulai langka keberadaanya. Agregat buatan yang digunakan pada penelitian ini berasal dari *flyash* yang merupakan sisa dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari agregat buatan berbahan dasar *flyash* ada beberapa uji yang dapat dilakukan seperti uji *Marshall*, uji *Fatigue*, uji *Creep* dan uji ITS.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Putri, (2018) perbandingan proporsi agregat alam dan agregat buatan yang telah diuji yaitu 75% : 25% dan 70% : 30%, dan didapatkan hasil terbaiknya, 75% untuk agregat alam dan 25% untuk agregat buatan. Dari hasil terbaik perbandingan agregat tersebut (75% : 25%) maka digunakan pada masing-masing uji kemiringan. Untuk kemiringan alat granulator yang telah diuji oleh Armin (2019) antara 40 °, 45 °, 50 ° dan 55 ° hasil yang terbaik diketahui adalah pada kemiringan 50 °. Untuk mendapatkan hasil terbaik tersebut diatas ada beberapa uji yang telah dilakukan, seperti uji kekekalan, uji kelekatan, uji abrasi, uji berat jenis dan uji penyerapan.

#### **2.2 Perkerasan Secara Umum**

Perkerasan adalah struktur yang terdiri dari beberapa lapisan dengan kekerasan dan daya dukung berlainan (Basuki, 2008). Menurut Basuki (2008) perkerasan lentur adalah suatu perkerasan yang mempunyai sifat *elastis*, maksudnya adalah perkerasan akan melendut saat diberi pembebanan berfungsi sebagai tumpuan rata-rata pesawat. Permukaan yang rata akan menghasilkan jalan

pesawat yang *comfort*, sehingga harus dijamin bahwa tiap-tiap lapisan dari atas ke bawah cukup kekerasan dan ketebalannya sehingga tidak mengalami *distress* (perubahan lapisan karena tidak mampu menahan beban).

### **2.3 Perkerasan Runway Bandara**

Landasan pacu atau *runway* adalah jalur perkerasan yang dipergunakan oleh pesawat terbang untuk mendarat (*landing*) atau lepas landas (*take off*). Menurut Horonjeff (1994) sistem *runway* di suatu bandara terdiri dari perkerasan struktur, bahu landasan (*shoulder*), bantal hembusan (*blast pad*) dan daerah aman landas pacu (*runway and safety area*).

Berikut salah satu penelitian terdahulu tentang perkerasan *runway* bandara yang telah dilakukan oleh Wahyudi (2017) yang berjudul “Analisis Perkerasan Lentur Landas Pacu Bandar Udara Juanda Dengan Membandingkan Aspal Shell Dengan Aspal Pertamina”. Penelitian ini membahas tentang perbandingan penggunaan aspal shell dengan aspal Pertamina pada perkerasan lentur landas pacu bandara Juanda, Surabaya. Kerusakan aspal yang pernah terjadi di Indonesia diantaranya adalah terkelupasnya aspal di beberapa titik di landasan Bandara Juanda, lalu kasus lain yang terjadi di Bandara Ngurah Rai, Bali yaitu terkelupasnya aspal di sekitar ujung barat landas pacu 09. Dengan contoh kasus kerusakan tersebut, studi ini disusun dengan tujuan untuk mengetahui penyebab kerusakan pada landasan yang berhubungan dengan karakteristik aspal. Dari hasil uji karakteristik aspal didapat untuk aspal Shell nilai penetrasi sebesar 63.2 mm, nilai titi lembek sebesar 53.2°C, nilai titik nyala dan titik bakar sebesar 302°C dan 324°C, nilai daktilitas sebesar 141.5 cm dan nilai berat jenis sebesar 1.033 gr/m<sup>3</sup> sedangkan hasil uji aspal Pertamina didapat nilai penetrasi sebesar 63.9 mm, nilai titik lembek 52.5°C, nilai titik nyala dan titik bakar sebesar 280°C dan 310°C, nilai daktilitas sebesar 139.5 cm, dan nilai berat jenis sebesar 1.028 gr/m<sup>3</sup>. Dibutuhkan material aspal yang memiliki karakteristik dengan kemampuan ketahanan terhadap panas sehingga mampu mempertahankan kondisi sifat rheologi, thermoplastic, dan thixotropy. Namun dari perbedaan yang kecil ini memungkinkan dilakukan studi lebih lanjut untuk mengetahui hal-hal yang mempengaruhi perbedaan ini walaupun secara kriteria aspal memiliki nilai yang sama yaitu pada kriteria penetrasi 60/70.

Ukuran pesawat setiap tahun semakin besar, disebabkan oleh banyaknya demand penumpang sehingga mempengaruhi perkerasan runway bandara karena adanya tekanan yang diberikan oleh pesawat terhadap perkerasan bandara. Adapun penelitian terdahulu terkait perubahan bentuk pesawat telah dilakukan oleh Roesler (2017) dalam penelitiannya yang berjudul *“Airport Pavements: Reflection on 20 Years of Design, Material and Construction Innovations”*

Penelitian ini membahas terkait trend pesawat dari tahun ke tahun terjadi perubahan. Salah satu perubahan karakteristik pesawat sebagai berikut :

- *Gear geometry:*

B777 – Tridem; Combo gears A380-800 tandem/tridem

- *A/C Loadings:*

Boeing 747 (1995) – 833,000 lb vs. A380-800 (2017) – 1.24x10<sup>6</sup> lb

- *Wheel Load*

B777-300 (1995) - 57,000 lb versus A350-900 (2017) – 70,000 lb

- *Higher tire pressures*

215 psi (1995) vs. 241 psi (2017)

## **2.4 Agregat**

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan (SNI No: 1737-1989-F). Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90% - 95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75% - 85% agregat berdasarkan persentase volume yang berfungsi sebagai kerangka atau tulangan yang memikul beban, yakni beban kendaraan yang melewati jalan tersebut.

Berdasarkan ukuran butir, agregat terbagi beberapa macam jenis menjadi:

- **Agregat Kasar**

Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (no. 4) sampai ukuran 40 mm (no. 1½ inci).

Berdasarkan ASTM C33 agregat kasar terdiri dari kerikil atau batu pecah dengan partikel butir lebih lebih besar dari 5 mm atau antara 9,5 mm dan 37,5 mm. Adapun batas-batas gradasi agregat kasar tercantum pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Batas-batas gradasi agregat kasar

Ukuran Saringan (mm)	% Berat Lolos Saringan
25	100
19	90 - 100
9,5	20 - 55
4,75	0 - 10
2,36	0 - 5

*Sumber: SNI 7656-2012*

Adapun penelitian terdahulu terkait agregat kasar, telah dilakukan oleh Misbah (2015) dengan judul penelitiannya “Pengaruh Variasi Kadar Agregat Kasar Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Panas Aspal Agregat (AC-BC) Dengan Pengujian *Marshall*”. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa dengan menaikkan kadar agregat kasar hingga 130% dan menurunkan kadar agregat kasar hingga 80% dari kondisi normal (100%), mengakibatkan nilai VFA dan *Flow* mengalami penurunan dari kondisi normal (100%) dan nilai VIM mengalami kenaikan dari kondisi normal (100%), hal ini mengakibatkan nilai karakteristik campuran *Marshall* tidak memenuhi spesifikasi campuran yang disyaratkan.

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Gao et al. (2018) dengan judul penelitian “*Effects of Coarse Aggregate Angularity on the Microstructure of Asphalt Mixture*” menyatakan bahwa *three-dimensional angularity* (3DA) dapat mengkarakteristikan kekakuan agregat kasar. Kekakuan memiliki pengaruh penting terhadap karakteristik hubungan rangkai campuran aspal, semakin rendah kekakuan agregat kasar semakin kecil jumlah rata-rata titik hubungannya sedangkan kekakuan yang rendah dihasilkan oleh karakteristik hubungan rangkai yang lemah.

- Agregat Halus

Agregat halus merupakan bahan pengisi diantara agregat kasar sehingga menjadikan ikatan lebih kuat yang mempunyai  $B_j$  1400 kg/m. Agregat halus yang baik tidak mengandung lumpur lebih besar 5% dari berat, tidak mengandung bahan organis lebih banyak, terdiri dari butiran yang tajam, keras dan bervariasi. Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi.

Berdasarkan ASTM C33 agregat halus umumnya berupa pasir dengan partikel butir lebih kecil dari 5 mm atau lolos saringan no. 4 dan tertahan pada saringan no. 200. Adapun batas-batas gradasi agregat halus tercantum pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Batas-batas gradasi agregat halus

Ukuran Saringan ASTM (mm)	% Berat Lolos Saringan
9,5	100
4,76	95 – 100
2,36	80 – 100
1,19	50 – 85
0,595	25 – 60
0,300	10 – 30
0,150	2 – 10

*Sumber: ASTM C-33*

Adapun penelitian terdahulu terkait agregat halus, telah dilakukan oleh Budiman (2018) dengan penelitiannya yang berjudul “Studi Penggunaan Batu Kapur Kalipucang sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus Beton Aspal Jenis AC-BC”. Tujuan penelitian ini antara lain untuk mengetahui karakteristik batu kapur dan penggunaan batu kapur Kalipucang sebagai substitusi agregat halus dari campuran beton aspal jenis AC-BC, dengan penambahan batu kapur sebanyak 50%

dari agregat halus. Berdasarkan hasil analisis data pengujian didapatkan nilai stabilitas dari beton aspal substitusi batu kapur lebih tinggi dibandingkan dengan campuran beton aspal tanpa batu kapur, yaitu 1.800 kg untuk campuran substitusi batu kapur dan 1.600 kg untuk campuran tanpa batu kapur. Sifat volumetrik beton aspal dari kedua campuran yaitu *VMA*, *VIM*, dan *VFA* memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.

Penelitian terkait agregat halus juga telah dilakukan oleh Kofteci (2018) dengan judul "*Experimental Study on Usability of Various Construction Wastes as Fine Aggregate in Asphalt Mixture*" dalam penelitian ini, beberapa sifat campuran aspal yang mengandung keramik, marmer dan bata merah sebagai bahan limbah daur ulang diselidiki. Karena kekuatannya yang rendah, bahan limbah daur ulang hanya digunakan sebagai agregat halus dan bahan pengisi. Berbagai tes termasuk kerentanan kelembaban, stabilitas *Marshall*, *Cantabro*, komposisi mekanik, komposisi mineral dan uji sifat fisik dilakukan. Selain itu, titik pelunakan dan sifat penetrasi aspal damar yang mengandung bahan limbah daur ulang di atas sebagai bubuk diteliti. Hasilnya menunjukkan campuran marmer memiliki kinerja yang lebih baik daripada campuran lainnya, terutama dalam konten 25%. Selain itu, dari hasil uji damar aspal, mastik aspal keramik menunjukkan keunggulan sifat suhu tinggi dan rendah.

- Filler

Bahan pengisi atau filler merupakan bagian dari agregat, yang dimaksud dengan filler pada susunan gradasi ini adalah material yang lolos ayakan no.200 (0,075 mm), bahan tersebut tidak kurang dari 75% dari yang lolos saringan no.30 (0,600 mm) serta bersifat non plastis. Filler berfungsi untuk mengisi bagian-bagian yang kosong (rongga-rongga atau celah yang terdapat pada sela-sela agregat). Bahan filler dapat berupa abu batu, abu batu kapur atau semen. Pada umumnya filler yang paling sering digunakan pada perkerasan aspal adalah abu batu atau semen.

Berdasarkan spesifikasi Bina Marga tahun 2010, proporsi filler adalah antara 1% sampai 2% terhadap berat total campuran beraspal. Bahan pengisi yang

ditambah terdiri atas debu batu kapur (limestone dust), semen Portland, abu terbang, abu tanur semen atau bahan non plastis lainnya dari sumber yang disetujui oleh direksi pekerjaan. Bahan tersebut harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan, dan bila diuji dengan pengayakan sesuai dengan SNI 03-4142-1996 harus sesuai dengan persyaratan bahan pengisi untuk campuran beraspal (SNI 03-6723-2002), yaitu mengandung bahan yang lolos ayakan 0,279 mm (No. 50) minimum 95% dan lolos ayakan 0,075 mm (No. 200) minimum 70 % terhadap beratnya, serta mempunyai sifat non plastis.

## 2.5 Aspal

Aspal adalah zat perekat (*comentitious*) berwarna hitam atau gelap, yang dapat diperoleh dari alam ataupun sebagai hasil produksi. Aspal juga didefinisikan sebagai material perekat dengan unsur utama bitumen yang diperoleh dari residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal merupakan material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat *termoplastis*. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun (Sukirman, 2003).

Aspal berasal dari minyak mentah (*crude oil*) dan ada juga yang berasal dari sisa organisme makhluk hidup dan tumbuhan dari masa lampau yang sudah lama tertimbun oleh batu tanah, sehingga menjadi sedimen dan terakumulasi dalam lapisan-lapisan tanah. Sedimen tersebut lama kelamaan akan terproses menjadi minyak mentah yang menjadi senyawa dasar *hydrocarbon*. Aspal yang biasa ditemukan berasal dari minyak, tetapi ada juga aspal yang berasal dari bahan alam seperti asbuton atau dikenal dengan istilah mineral (Shell Bitumen, 1990).

Terdapat bermacam – macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat, beberapa jenis aspal keras adalah sebagai berikut: (AASHTO, 1982):

1. Aspal penetrasi rendah 40/55, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas tinggi, dan daerah dengan cuaca iklim panas.

2. Aspal penetrasi rendah 60/70, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas sedang atau tinggi, dan daerah dengan cuaca iklim panas.
3. Aspal penetrasi tinggi 80/100, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas sedang/rendah, dan daerah dengan cuaca iklim dingin.
4. Aspal penetrasi tinggi 100/110, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas rendah, dan daerah dengan cuaca iklim dingin.

Dalam pemilihan jenis aspal yang akan digunakan pada daerah yang beriklim panas sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah, dalam rangka mencegah aspal menjadi lebih kaku dan tidak mudah pecah (*brittle*). Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah penetrasi 60/70. Aspal yang digunakan selain harus memenuhi spesifikasi dan persyaratan pemeriksaan laboratorium, dalam pelaksanaannya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Aspal harus melapisi batuan dengan rapat.
2. Aspal yang digunakan tidak mudah menjadi rapuh.
3. Aspal yang digunakan mempunyai sifat melekat yang baik terhadap batuan yang dilapisi.
4. Aspal yang melapisi batuan tidak mudah peka terhadap perubahan suhu.
5. Aspal harus memberikan lapisan yang elastis pada batuan.

## **2.6 Lapis Aspal Beton (Laston/AC)**

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) Divisi 6 tentang perkerasan aspal terdapat beberapa jenis campuran beraspal, yaitu Latasir/SS (Lapis Tipis Aspal Pasir), Laston/HRS (Lapis Tipis Aspal Beton) dan Laston/AC (Lapis Aspal Beton), dalam perencanaan campuran kerja harus disesuaikan dengan kebutuhan dari perkerasan yang akan dipasang di lapangan. Lapis Aspal Beton (Laston/AC) terdiri dari tiga jenis campuran, AC Lapis Atas (AC-WC), AC Lapis Antara (AC-Binder Course, AC-BC) dan AC Lapis Pondasi (AC-Base) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm.

Pada Petunjuk dan Pelaksanaan Teknis Pekerjaan Aspal Beton oleh Kementerian Perhubungan Udara Lapisan Beton Aspal adalah lapisan perkerasan lentur (*Fleksibel*) yang terdiri dari campuran aspal dengan agregat (batu pecah)



yang bergradasi , campuran ini diproses melalui AMP (*Asphalt Mixing Plant*) atau mesin pencampur aspal kemudian campuran ini dihampar dan dipadatkan pada suhu (*temperature*) tertentu.

Adapun penelitian terdahulu terkait lapis aspal beton telah dilakukan oleh Thanaya (2016) dengan judul penelitiannya “Analisis Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) dengan Menggunakan Plastik Bekas sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat”. Pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan plastik dan agregat serta aspal terlebih dahulu yang dilakukan berdasarkan SNI. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* untuk mencari kadar aspal optimum. Diperoleh nilai KAO sebesar 5,9%. Persentase inilah yang digunakan sebagai dasar penentuan kadar/jumlah aspal pada campuran AC-WC dengan plastik bekas sebagai pengganti sebagian agregat. Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas tertinggi terjadi pada penggunaan kadar plastik 50% sebesar 875,1 kg dan terendah pada kadar plastic 10% sebesar 527,0 kg. Nilai *Flow* tertinggi pada penggunaan kadar plastik 50% sebesar 7,11 mm dan terendah pada kadar 0% sebesar 3,43 mm. Sedangkan nilai MQ tertinggi pada penggunaan kadar plastik 0% dan terendah pada kadar plastik 10% masing-masing sebesar 251,7 kg/m dan 109,3 kg/m. Untuk nilai VMA tertinggi terjadi pada penggunaan kadar plastik 10% sebesar 20,3% dan terendah pada kadar plastik 0% sebesar 15,2%. Nilai VIM tertinggi pada penggunaan kadar plastik 50% dan terendah pada kadar plastik 0% masing-masing sebesar 12,6% dan 4,9%. Sedangkan nilai VFB tertinggi pada penggunaan kadar plastik 0% sebesar 67,9% dan terendah pada kadar 50% sebesar 37,3%. Pengurangan porositas dilakukan dengan peningkatan energi pemadatan menjadi 2x100 tumbukan. Penambahan sebanyak 25 tumbukan pada masing-masing sisi dilakukan pada campuran dengan variasi kadar plastik 50%. Dari hasil pengujian *Marshall* dan perhitungan, diperoleh data berupa nilai karakteristik meliputi nilai stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient*, VIM, VMA, dan VFB, yaitu masing-masing secara berturut-turut sebesar 1539,7 kg; 8,38 mm; 183,51 kg/mm; 8,8%; 16,6%; dan 47,2%.

Tai Nguyen (2018) telah melakukan penelitian yang berjudul “*Effects of Crumb Rubber Content and Curing Time on the Properties of Asphalt Concrete and Stone Mastic Asphalt Using Dry Process*” penelitian ini bertujuan untuk

mengetahui efek dari crumb rubber (CR) pada sifat mekanik, terutama ketahanan *rutting*, CR *modified asphalt concrete* (AC) dan *stone mastic asphalt* (SMA) dengan memvariasikan dua faktor yaitu, *content of additive* dan *the curing time*. Diamati bahwa kadar yang optimal adalah 1,5-2%, sedangkan *curing time* optimal yang berkontribusi terhadap peningkatan maksimal dalam karakteristik mekanis dari kedua campuran tidak dapat ditentukan. Dalam rentang waktu pengeringan yaitu 0-5 jam, semakin lama campuran aspal dipertahankan pada suhu tinggi, semakin baik kinerja campurannya.

## 2.7 Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran agregat. Dapat juga disebut pengelompokan agregat dengan ukuran yang berbeda sebagai persentase dari total agregat atau persentase kumulatif butiran yang lebih kecil atau lebih besar dari masing-masing seri bukaan saringan. Ukuran butiran agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Gradasi agregat juga berguna untuk menentukan proporsi agregat halus terhadap total agregat, menentukan stabilitas, permeabilitas, kepadatan dan besarnya rongga atau pori dalam agregat campuran.

Gradasi agregat dapat digolongkan menjadi 3 macam (Popovics, S. 1982):

- Gradasi menerus/rapat, dimana ukuran butiran pada agregat kasar dan halus bervariasi mulai dari ukuran yang terbesar sampai ukuran yang terkecil. Gradasi ini merupakan gradasi standar yang umum dipakai untuk campuran beton.
- Gradasi seragam, dimana ukuran butiran hampir sama baik pada agregat halus maupun diagregat kasar. Gradasi agregat jenis ini pada umumnya didapati pada agregat untuk beton ringan.
- Gradasi senjang/terbuka, merupakan suatu gradasi dimana salah satu atau lebih agregat dalam ukuran tertentu tidak ada. Gradasi agregat jenis ini biasanya terdapat pada pasir yang terlalu halus dan terlalu kasar. Jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada, maka gradasi ini akan menunjukkan suatu garis horizontal dalam grafiknya.

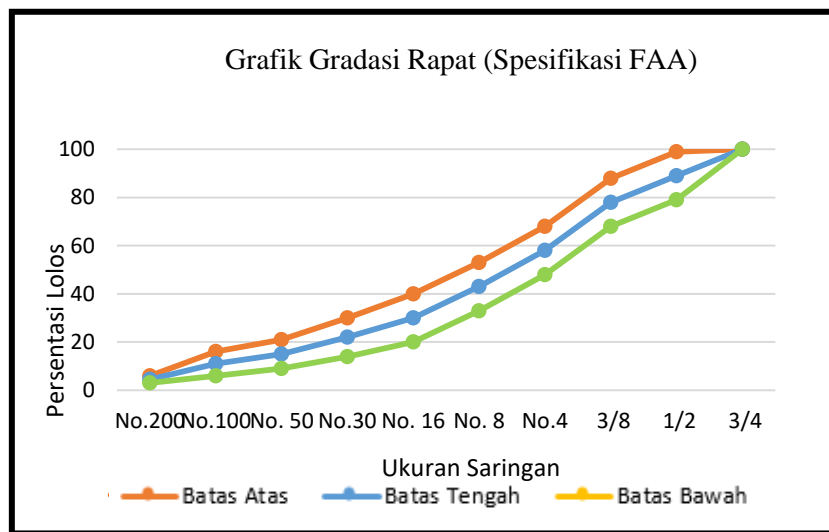
Pada penelitian ini akan membandingkan antara gradasi menerus/rapat sesuai spesifikasi FAA (*Federal Aviation Administration*) dengan gradasi terbuka menggunakan spesifikasi dari BBA (*Béton Bitumineux pour chaussées Aéronautiques*). Berikut spesifikasi yang akan digunakan pada penelitian ini tercantum pada Tabel 2.3.

Table 2.3 Spesifikasi gradasi agregat dari FAA dan BBA (Perkerasan Bandara)

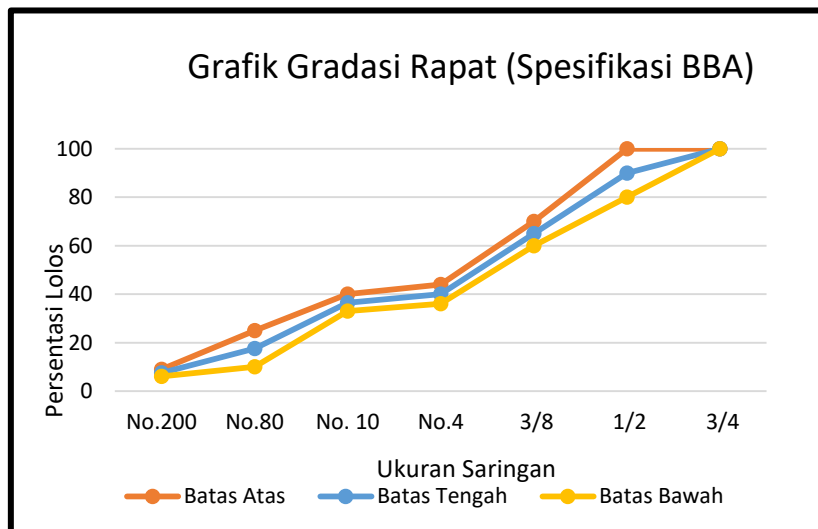
No.	Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Lolos Saringan Standar FAA	% Berat Lolos Saringan Standar Modifikasi BBA
1.	1" (25,4 mm)	-	-
2.	3/4" (19,1 mm)	100	100
3.	1/2" (12,7 mm)	79 – 99	80 – 100
4.	3/8" (9,25 mm)	68 – 88	60 – 70
5.	No. 4 (4,76 mm)	48 – 68	36 – 44
5.	No. 8 (2,36 mm)	33 – 53	–
6.	No. 10 (2,00 mm)	–	33 – 40
5.	No. 16 (1,18 mm)	20 – 40	–
5.	No. 30 (0,6 mm)	14 – 30	–
5.	No. 50 (0,3 mm)	9 – 21	–
8.	No. 80 (0,177 mm)	–	10 – 25
5.	No. 100 (0,15 mm)	6 – 16	–
9.	No. 200 (0,074 mm)	3 – 6	6 – 9

Sumber: FAA (2014) dan BBA (2017)

Berikut ini adalah grafik dari gradasi rapat spesifikasi FAA dan gradasi terbuka spesifikasi BBA tercantum pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2. Berdasarkan spesifikasi gradasi pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 menunjukkan amplop gradasi batas atas dan batas bawah, akan tetapi pada penelitian ini akan menggunakan amplop gradasi pada batas tengah yang berada diantara batas atas dan batas bawah, gradasi batas tengah digunakan supaya tidak keluar dari spesifikasi amplop gradasi dan agar hasilnya maksimal karena pemilihan batas tengah merupakan yang terbaik.



Gambar 2.1 Grafik Gradasi Rapat FAA (2014)



Gambar 2.2 Grafik Gradasi Terbuka BBA (2017)

Adapun penelitian terdahulu yang pernah dilakukan terkait perbandingan penggunaan gradasi telah dilakukan oleh Joubert (2004) dalam penelitiannya yang berjudul “*Experimental Asphalt Sections In The Runway Touch Down Zone On Johannesburg International Airport*”. Penelitian ini membahas mengenai penggunaan gradasi rapat, gradasi terbuka dan gradasi stone mastic asphalt (SMA) yang dilakukan pada bandara internasional Johannesburg. Pada penelitian ini dapat ditunjukkan bahwa gradasi rapat merupakan gradasi yang sangat baik, memiliki kepadatan yang tinggi dan awet, tetapi pemeliharaannya sangat susah dan kinerjanya tidak baik terhadap *skid resistance*. Gradasi terbuka merupakan gradasi rentan terjadi kerusakan karena nilai kepadatannya rendah akan tetapi

pemeliharaannya sangat mudah. Dan gradasi SMA merupakan gradasi yang kinerjanya terbaik dari seluruh kriteria.

## 2.8 Agregat Buatan Geopolimer

Geopolimer merupakan material baru dari jenis polimer anorganik. Yang dimaksud anorganik adalah polimer tersebut terbentuk bukan dari alam melainkan buatan manusia. Geopolimer terbentuk karena ada reaksi secara geokimia dengan menggunakan bahan dasar mineral alumunia silikat dan alkali (Aditama, 2017).

Agregat buatan geopolimer dengan proses geopolimerisasi salah satu upaya untuk mendapatkan agregat buatan yang lebih ramah lingkungan. Proses geopolimerisasi itu sendiri merupakan proses untuk mendapatkan material baru yang dihasilkan dari geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkali silikat yang menghasilkan kerangka polimer  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  yang terikat secara tetrahedral (Davidovits, 1994). Salah satu material yang banyak mengandung silika dan alumina yang cukup besar adalah *flyash*. Agar kandungan unsur-unsur dalam material *flyash* ini bisa menjadi sebuah binder yang kuat, maka diperlukan alkali aktivator (Sudrajat, 2016).

Macam material penyusun geopolimer sebagai berikut:

- *Flyash* (abu terbang)

SNI 03-6414-2002 mendefinisikan *flyash* sebagai limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik. *Flyash* merupakan material pozzolan, yaitu mineral silikat dan alumina yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida dan membentuk senyawa semen. *Flyash* ini dibagi menjadi tiga kelas, yaitu:

### 1) Flyash kelas F

Flyash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara (bituminous). *Flyash* kelas F disebut juga low-calcium *flyash*, yang tidak mempunyai sifat cementitious dan hanya bersifat pozzolanik. *Flyash* tipe ini mempunyai kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 70\%$ .

## 2) Flyash kelas C

*Flyash* yang mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara (batubara muda / sub-bituminous). *Flyash* kelas C disebut juga high-calcium *flyash*, karena kandungan CaO yang cukup tinggi. *Flyash* kelas ini mempunyai sifat cementitious dan bersifat pozolanik, jika terkena air atau kelembapan akan berhidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit. *Flyash* tipe ini mempunyai kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 50\%$ .

## 3) Flyash kelas N

Merupakan pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomie, opaline chert, shales tuff dan abu vulkanik. Material-material ini biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran dan mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Flyash yang paling baik untuk dijadikan bahan dasar pembuatan beton geopolimer adalah *flyash* kelas F (Gourley, 2003). *Flyash* (ASTM kelas F) dengan kadar Ca yang rendah lebih banyak digunakan sebagai sumber material.

- Alkali Aktivator

Alkali aktivator ini yang nantinya akan bereaksi dengan kandungan Si dan Al dalam *flyash* menjadi sebuah binder geopolimer. Alkali aktivator yang digunakan untuk membuat geopolimer diantaranya adalah kombinasi antara sodium hidroksida (NaOH) dengan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) atau potassium hidroksida (KOH) dengan potassium silikat ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ) (Davidovits, 1999). Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *flyash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Molaritas aktivator NaOH sangat berpengaruh pada kuat mekanik binder maupun beton geopolimer, dimana semakin tinggi molaritas NaOH

semakin tinggi kuat mekanik beton maupun binder geopolimer. Selain itu perbandingan rasio aktifator  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  juga memberi pengaruh terhadap beton maupun binder geopolimer. Namun semakin tinggi perbandingan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang tinggi (Ekaputri dan Triwulan, 2014). Kedua jenis aktivator yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari toko bahan kimia. NaOH ini berupa serbuk dan akan dilarutkan dengan menggunakan aquades sehingga menjadi larutan NaOH dan digunakan larutan NaOH 8M.

Adapun penelitian terdahulu terkait agregat buatan geopolimer telah dilakukan oleh Triwulan (2007) dengan judul penelitiannya “Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar *Flyash* dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi”. Dalam penelitian ini dibuat 4 buah benda uji berupa binder dan 4 buah benda uji beton dengan variasi aktivator sodium hidroksida molaritas 8M dan 10M serta penambahan air sebanyak 80% dan 100% dari berat lumpur. Pada benda uji binder akan dilakukan tes yang meliputi: tes waktu pengikatan, tes tekan dan tes porositas. Sedangkan untuk benda uji beton akan dilakukan tes yang meliputi: tes slump, tes tekan, tes tarik belah dan tes porositas. Pada pengujian tekan dan tarik belah, umur benda uji ditentukan pada 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Dari hasil penelitian terlihat bahwa molaritas larutan aktivator dan persentase penambahan air mempengaruhi sifat mekanik beton geopolimer lumpur. Secara umum, semakin besar molaritas dan semakin sedikit persentase penambahan air pada campuran akan memberikan karakteristik beton yang lebih tinggi.

Lahoti (2018) juga telah melakukan penelitian terkait agregat buatan geopolimer dengan judul penelitiannya “*Effect of Alkali Cation Type on Strength Endurance of Flyash Geopolymers Subject to High Temperature Exposure*”. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh jenis alkali kation pada respon suhu tinggi *flyash* geopolimer yang bertujuan untuk aplikasi struktural. Hasil menunjukkan bahwa kalium geopolimer mengalami peningkatan kekuatan yang signifikan (30-40%), natrium geopolimer menunjukkan kekuatan yang berkurang (10%), dan kekuatan campuran natrium dan kalium geopolimer tetap tidak berubah setelah paparan suhu tinggi. Sementara pengikat secara kimia stabil tanpa

deteriorasi dan pembentukan fase kristal baru setelah paparan suhu tinggi, stabilitas volume bervariasi dengan jenis alkali kation yang digunakan.

## **2.9 Granulasi**

Granulasi merupakan pembentukan partikel-partikel besar dengan mekanisme pengikatan tertentu. Bisa juga diartikan granulasi adalah proses pembuatan ikatan partikel-partikel kecil membentuk padatan yang lebih besar atau agregat permanen melalui penggumpalan massa, sehingga dapat dibuat granul yang lebih homogen dari segi kadar, masa jenis, ukuran serta bentuk partikel. Adapun fungsi granulasi adalah untuk memadatkan bahan-bahan penyusun/serbuk, menyediakan campuran seragam yang tidak memisah, mengurangi debu, dan memperbaiki penampakan butiran/tablet.

Granulasi dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

### **1. Granulasi Basah**

Granulasi basah merupakan metode yang dilakukan dengan cara membasahi massa bahan penyusun/serbuk menggunakan larutan pengikat sampai terdapat tingkat kebasahan tertentu, lalu digranulasi. Keuntungan menggunakan granulasi basah adalah dapat meningkatkan kohesifitas dan kempresibilitas serbuk dengan penambahan bahan pengikat menjadi material baru yang lebih padat. Sedangkan kerugiannya adalah membutuhkan tempat yang luas, biaya yang tinggi, alat dan waktu yang banyak.

### **2. Granulasi Basah Kering**

Granulasi kering merupakan metode yang dilakukan dengan cara membuat granul secara mekanis tanpa bantuan pengikat basah atau pelarut pengikat. Keuntungan menggunakan granulasi kering adalah tahap proses yang lebih sedikit sehingga tidak terlalu lama proses pengerjaannya. Sedangkan kekurangannya adalah memerlukan mesin khusus yang mampu menekan massa bahan penyusun/serbuk pada tekanan tinggi, sehingga menjadi tablet besar yang tidak berbentuk.



## 2.10 Ketahanan Deformasi (Creep)

Ketahanan deformasi (*creep*) sangat dipengaruhi oleh kekakuan suatu campuran. Menurut Dandamanu (2003) pada perkerasan lapis permukaan jalan sering terjadi deformasi permanen/plastis yang diakibatkan oleh beban lalu lintas baik yang bergerak maupun yang statis. Berikut salah satu penelitian terdahulu terkait dengan uji creep yang telah dilakukan oleh:

Thanaya (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks”. Pada penelitian ini dicoba membuat campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan penambahan lateks, dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC pada kadar aspal optimum dengan penambahan variasi lateks 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap total perekat. Sampel diuji *Marshall* dan *Dynamic Creep*. Diperoleh berat jenis lateks sebesar 0,977 dan kadar kering karet sebesar 61,95%. Kadar aspal optimum campuran didapat 5,7% dimana semua karakteristik *Marshall* dipenuhi. Dipilih campuran AC-WC dengan variasi lateks 4% terhadap total perekat dimana semua ketentuan sifat perekat aspal masih dipenuhi. Diperoleh Stabilitas = 1439,26 kg ( $\geq 800$  kg), Flow = 3,84 mm (2 - 4 mm), *Marshall Quotient* = 379,66 kg/mm ( $\geq 250$  kg/mm), VIM = 4,437 % (3 - 5 %), VMA = 15,280 % ( $\geq 15$  %), VFB = 70,961 ( $\geq 65$ %). Campuran yang mengandung lateks memiliki kemampuan menahan deformasi lebih baik diuji dengan *dynamic creep* pada suhu 40 °C.

Sparsa (2018) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Perbandingan Karakteristik Campuran *Cold Paving Hot Mix Asbuton* (CPHMA) yang Dipadatkan Secara Dingin dan Panas”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh karakteristik campuran CPHMA yang dipadatkan pada suhu dingin dan panas. Variasi suhu pemadatan yang digunakan 30°C (pemadatan dingin pada suhu kamar), 60°C, 90°C, 120°C, dan 150°C. Diperoleh hasil: kadar aspal residu optimum 7% dengan suhu pemadatan maksimum adalah 90°C (suhu panas). CPHMA dipadatkan dingin memiliki nilai kepadatan 2,123 gr/cm<sup>3</sup>, stabilitas 616,7 kg, *flow* 3,5 mm, VIM 5,46%, VMA 18,70 %, VFB 70,78%, CAL 10,04 %, ITSM 152 MPa, repetisi beban pada 100  $\mu\text{E}$  6.226 kali, regangan pada repetisi beban 1 juta (106) kali 4,36  $\mu\text{E}$ . CPHMA dipadatkan panas pada suhu 90°C memiliki nilai

kepadatan 2,147 gr/cm<sup>3</sup>, stabilitas 1.108,8 kg, *flow* 2,55 mm, VIM 4,45 %, VMA 17,77 %, VFB 74,98 %, CAL 0,17 %, ITSM 320 MPa, repetisi beban pada 100  $\mu\epsilon$  36.307 kali, regangan pada repetisi beban 1 juta (10<sup>6</sup>) kali 19,07  $\mu\epsilon$ , nilai kemiringan kurva rangkai dinamis CPHMA dipadatkan panas 0,561, yang dapat digunakan untuk lalu lintas sedang. CPHMA yang dipadatkan dingin tidak dapat diuji pada pengujian *creep*, karena sampel sudah runtuh sebelum repetisi beban 3600 kali. CPHMA yang dipadatkan panas pada suhu maksimum (90°C) memberikan karakteristik campuran lebih baik dibandingkan dengan CPHMA yang dipadatkan dingin.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Thanaya (2016) dan Sparsa (2018) dapat ditunjukkan sebagai berikut:

Thanaya (2016) menunjukkan bahwa pada penambahan 4% lateks ketahanan campuran terhadap deformasi meningkat sebesar 11,9%, dan kekakuannya meningkat 14,2%. Campuran dengan dan tanpa lateks memiliki nilai kemiringan tes *creep* dinamik (*dynamic creep slope*), sesuai untuk lalu lintas berat. Oleh karena itu, semakin meningkatnya nilai ketahanan dan kekakuan campuran terhadap deformasi maka semakin bagus. Begitupula dengan nilai kemiringan tes *creep* dinamik, semakin tinggi nilainya maka semakin bagus dan sesuai untuk lalu lintas berat.

Sparsa (2018) menunjukkan bahwa regangan pada repetisi beban 1 juta (10<sup>6</sup>) kali 4,36  $\mu\epsilon$  dan untuk *creep* CPHMA dipadatkan dingin tidak dapat diuji karena sudah runtuh sebelum 3600 kali, sedangkan untuk CPHMA yang dipadatkan panas regangan pada repetisi beban 1 juta (10<sup>6</sup>) kali 19,07  $\mu\epsilon$ , nilai kemiringan kurva rangkai 0,561 dan CPHMA dipadatkan panas digunakan untuk lalu lintas sedang. Oleh karena itu, campuran dikatakan bagus apabila belum runtuh ketika diberikan pembebanan berulang sebanyak 3600 kali pembebanan.

Nilai *creep* bervariasi tergantung pada karakteristik campuran, temperatur dan beban. Uji *creep* diperlukan untuk memberikan gambaran apakah campuran aspal beton yang diusulkan ini dapat memiliki ketahanan yang lama. Nilai *creep* itu sendiri menghasilkan nilai regangan dengan satuan microstrain ( $\mu\epsilon$ ) yang artinya semakin besar nilai regangan, semakin rentan terhadap deformasi. Dengan kata lain, semakin tinggi nilai *creep* semakin pendek umur rencana perkerasan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan potensi material *flyash* yang cukup melimpah dengan cara membuat agregat buatan geopolimer sebagai campuran aspal beton yang digunakan pada perkerasan lentur bandara.

#### **3.2 Studi Literatur**

Studi literatur digunakan untuk dapat memahami langkah-langkah penelitian sesuai prosedur, material-material apa saja yang diperlukan dan bagaimana menganalisis data hasil penelitian. Studi literatur dilaksanakan sepanjang penelitian. Hal ini bertujuan untuk mendukung kegiatan praktikum dan analisis penelitian dengan baik dan benar.

#### **3.3 Tahapan Penelitian**

Penelitian ini terdiri dari 4 (empat) tahapan:

1. Tahap persiapan
2. Tahap pembuatan benda uji
3. Tahap pengujian material
4. Tahap analisa data

##### **3.3.1 Tahap Persiapan**

Tahap ini merupakan tahap penentuan arah penelitian, pada tahapan ini semua alat dan bahan yang diperlukan perlu disiapkan terlebih dahulu. Jangan sampai ada alat dan bahan yang tidak disediakan, karena akan berpengaruh pada saat melakukan penelitian. Usahakan alat dan bahan tersebut telah dipersiapkan sejak awal secara maksimal.

### 3.3.2 Tahap Pembuatan Benda Uji

#### a) Mix Design Binder Geopolimer

Untuk membuat agregat buatan geopolimer bahan utama yang harus dipersiapkan adalah:

- *Flyash*

*Flyash* yang digunakan untuk pembuatan aspal beton geopolimer adalah *flyash* kelas F yang berasal dari limbah PLTU Paiton Probolinggo, Jawa Timur.

- Alkali Aktivator

Aktivator sebagai campuran *flyash* adalah campuran sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>).

Untuk agregat buatan geopolimer tersusun atas *flyash* dan aktivator yang dicampur menjadi satu sampai umur 28 hari. Aktivator yang digunakan adalah sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dan natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi sebanyak 8M dan komposisi *flyash* dan alkali sebesar 75%:25% dan untuk rasio alkali aktivator menggunakan komposisi terbaik yaitu 1 (NaOH) : 2,5 (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) (Putri, 2018).

Rumus yang digunakan dalam pembuatan larutan NaOH 8M adalah seperti Persamaan 3.1.

$$\begin{aligned} n &= V \times M \dots\dots\dots (3.1) \\ &= 1 \text{ liter} \times 8 \text{ (mol/liter)} \\ &= 8 \text{ mol} \end{aligned}$$

Dimana:

n = jumlah mol zat terlarut (mol)

M = kemolaran larutan (mol/liter)

V = volume larutan (liter)

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= (n \text{ mol}) \times M_r \\ &= 8 \text{ mol} \times 40 \text{ (gram/mol)} \\ &= 320 \text{ gram} \end{aligned}$$

Keterangan:

$n$  mol = jumlah mol zat terlarut (mol)

$M_r$  = massa relative atom (gram/mol)

b) Pembuatan Agregat Buatan Geopolimer

Langkah selanjutnya yaitu membuat agregat buatan geopolimer menggunakan mesin granulator dengan kemiringan sebesar  $50^\circ$  (Armin, 2019). Mesin granulator ini terdiri dari bagian utama yang berupa pan granulator yang bisa berputar karena digerakkan dengan mesin listrik. Kecepatan putar pan granulator ini berkisar 26 putaran per menit dengan diameter pan 120 cm dan berbobot sekitar 200-250 kg. Adapun mesin granulator yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Mesin Granulator

c) Persiapan Bahan Agregat Buatan

Pada tahap ini semua alat dan bahan yang diperlukan perlu disiapkan terlebih dahulu. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahan dan material yang digunakan telah lengkap dan cukup untuk pembuatan sampel pengujian. Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap campuran agregat buatan dengan dua jenis gradasi yaitu gradasi rapat dan gradasi terbuka. Berikut rincian gradasi agregat sesuai dengan ukuran masing-masing tercantum pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Diketahui pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 kolom (a) dan (b) merupakan ukuran ayakan yang disusun pada mesin ayakan sesuai dengan no. saringan, kolom berwarna biru merupakan agregat kasar dan kolom tidak berwarna merupakan agregat halus. Kolom (c), (d) dan (e) merupakan persentase batas-batas sesuai

spesifikasi FAA dan BBA yang sesuai dengan Gambar 2.1 dan Gambar 2.2, kolom (f) dan (g) merupakan persentase dan berat tertahan pada masing-masing saringan, kolom (h) dan (i) merupakan berat tertahan masing-masing saringan sesuai dengan rasio 25% agregat buatan dan 75% agregat alam, kolom (j) dan (k) merupakan total kebutuhan agregat buatan dan kolom (l) dan (m) merupakan total kebutuhan agregat alam.

Tabel 3.1 Perhitungan berat material yang dibutuhkan pada gradasi FAA

Kebutuhan agregat buatan pada Gradasi Rapat (FAA)												
No. Ayakan		Batas Bawah (%)	Batas Tengah (%)	Batas Atas (%)	Tertahan pd masing-masing saringan (%)		Rasio 25% : 75%		Total Kebutuhan AB		Total Kebutuhan AA	
							AB	AA	1buah	21buah	1buah	21buah
in	mm				(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
3/4	19,1	100	100	100	0,0	0	-	-	-	-	-	-
1/2	12,7	79	89	99	11,0	132	33	99	33	693	99	2.079
3/8	9,25	68	78	88	11,0	132	33	99	33	693	99	2.079
No.4	4,76	48	58	68	20,0	240	60	180	60	1.260	180	3.780
No.8	2,36	33	43	53	15,0	180	45	135	45	945	135	2.835
No.16	1,18	20	30	40	13,0	156		156			156	3.276
No. 30	0,6	14	22	30	8,0	96		96			96	2.016
No.50	0,3	9	15	21	7,0	84		84			84	1.764
No.100	0,15	6	11	16	4,0	48		48			48	1.008
No.200	0,074	3	4,5	6	6,5	78		78			78	1.638
Pan					4,5	54		54			54	1.134
Jumlah					100,0	1200	171	1.029	171	3.591	1.029	21.609

Berdasarkan Tabel 3.1 didapat kebutuhan agregat buatan dan agregat alami untuk gradasi rapat dengan perhitungan sebagai berikut:

Kebutuhan agregat = jumlah kebutuhan agregat 1 sampel x total benda uji

Agregat Alam (AA) = 1029 gr x 21 benda uji = 21609gr = 21,609 kg

Agregat Buatan (AB) = 171 gr x 21 benda uji = 3591gr = 3,591 kg

Tabel 3.2 Perhitungan berat material yang dibutuhkan pada gradasi BBA

Kebutuhan agregat buatan pada Gradasi Rapat (BBA)												
No. Ayakan		Batas Bawah (%)	Batas Tengah (%)	Batas Atas (%)	Tertahan pd masing-masing saringan (%)		Rasio 25% : 75%		Total Kebutuhan AB		Total Kebutuhan AA	
in	mm				(%)	(gr)	AB	AA	1buah	30buah	1buah	30buah
a	b				c	d	e	f	g	h	i	j
3/4	19,1	100	100	100	0,0	0	-	-	-	-	-	-
1/2	12,7	80	90	100	10,0	120	30	90	30	900	90	2.700
3/8	9,25	60	65	70	25,0	300	75	225	75	2.250	225	6.750
No.4	4,76	36	40	44	25,0	300	75	225	75	2.250	225	6.750
No.10	2,00	33	36,5	40	3,5	42		42			42	1.260
No.80	0,177	10	17,5	25	19,0	228		228			228	6.840
No.200	0,075	6	7,5	9	10,0	120		120			120	3.600
Pan					7,5	90		90			90	2.700
Jumlah					100,0	1200	180	1.020	180	5.400	1.020	30.600

Berdasarkan Tabel 3.2 didapat kebutuhan agregat buatan dan agregat alami untuk gradasi terbuka dengan perhitungan sebagai berikut:

Kebutuhan agregat = jumlah kebutuhan agregat 1 sampel x total benda uji

Agregat Alami (AA) = 1020 gr x 30 benda uji = 30600gr = 30,600 kg

Agregat Buatan (AB) = 180 gr x 30 benda uji = 5400gr = 5,400 kg

Sehingga total keseluruhan agregat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebesar:

Total kebutuhan agregat = jumlah kebutuhan agregat gradasi rapat + gradasi terbuka

Agregat Alami (AA) = 21,609 kg + 30,600 kg = 52,209 kg  $\approx$  55 kg

Agregat Buatan (AB) = 3,591 kg + 5,400 kg = 8,991 kg  $\approx$  9 kg

#### d) Pembuatan Campuran Aspal Beton

Setelah agregat buatan geopolimer sudah siap maka selanjutnya adalah membuat benda uji campuran aspal beton geopolimer. Tahapan pembuatan aspal beton geopolimer sesuai ASTM D-1550-E27 dan SNI 06-2489-1991 sebagai berikut:

1. Menyiapkan material berupa agregat kasar (25% agregat buatan : 75% agregat alam), agregat halus (agregat alam), Filler dan aspal penetrasi 60/70.
2. Menyaring agregat sesuai kebutuhan dan menempatkannya pada wadah sesuai ukuran butir masing-masing.
3. Menimbang agregat yang telah di saring sesuai proporsi *job mix formula* (JMF), kemudian memasukkan agregat dalam kantong plastik untuk dipisahkan pada masing-masing nomor ayakan yang sesuai dengan berat hasil JMF.
4. Menyiapkan peralatan penggorengan dan pencampur aspal beton, seperti kompor, wajan, pengaduk, pengatur suhu, dll.
5. Menyalakan kompor, kemudian memasukkan agregat yang sudah dipisahkan dalam kantong plastik (langkah 3) ke dalam wajan. Agregat tersebut dipanaskan sampai suhu 130°C, suhunya dikontrol menggunakan alat pengukur suhu aspal (Thermometer Aspal).
6. Memanaskan aspal padat sampai mencair pada suhu 140°C - 165°C, suhunya dikontrol menggunakan alat pengukur suhu aspal (Thermometer Aspal).

7. Memasukkan aspal cair dalam wajan yang telah berisi agregat sesuai kebutuhan.
8. Agregat dan aspal dalam wajan diaduk sampai keduanya tercampur menjadi satu dan merata. Suhu pencampuran antara  $120^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ , suhunya dikontrol menggunakan alat pengukur suhu aspal (Thermometer Aspal). Apabila suhu pencampuran tidak sesuai dengan suhu yang disyaratkan misalnya, suhu melewati batas dengan campuran agregat dan aspal yang terlalu panas, pada saat pemadatan campuran akan mudah hancur. Sebaliknya apabila suhu terlalu rendah menyebabkan campuran tidak terikat sempurna dan saat dipadatkan tingkat kerapatannya menjadi rendah.
9. Menyiapkan peralatan pemadatan, seperti compactor, cetok, spatula, palu, dll.
10. Memasukkan campuran agregat dan aspal di wajan pada cetakan berbentuk tabung kemudian di rojok sebanyak 25 kali agar campuran agregat dan aspal didalam cetakan menjadi rata dan campuran tidak tumpah atau berceceran.
11. Menaruh cetakan yang telah berisi campuran pada alat pemadat. Kemudian campuran di tumbuk sebanyak  $2 \times 75$  kali pada bagian atas dan bawah supaya padatnya merata dan sempurna pada kedua sisi, suhu pemadatan  $95^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$  dan dikontrol menggunakan alat pengukur suhu aspal (Thermometer Aspal).
12. Mengeluarkan cetakan berisi campuran yang telah padat dari alat pemadat dan mendinginkannya beberapa saat.
13. Campuran yang telah padat selanjutnya dikeluarkan dari cetakan menggunakan *extruder* dan benda uji aspal beton siap untuk dilakukan pengujian *Marshall* untuk mengetahui propertisnya.

### **3.3.3 Tahap Pengujian Material**

Pengujian material yang dilaksanakan pada penelitian ini, meliputi pemeriksaan terhadap aspal penetrasi 60/70, pemeriksaan agregat kasar, agregat buatan, dan *filler*. Apabila material telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, maka langkah selanjutnya adalah mendesain campuran aspal beton untuk dilakukan uji propertis *Marshall* dan uji *Creep*.



## 1. Pemeriksaan Aspal

Terdapat beberapa langkah pemeriksaan aspal, secara lebih detail dijelaskan sebagai berikut:

### 1) Pengujian Penetrasi (SNI 06–2456–1991)

Pengujian penetrasi aspal, pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu.

### 2) Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal (SNI 06-2433-1991)

Titik nyala adalah suhu dimana pada saat terlihat nyala singkat kurang dari 5 detik pada suatu titik diatas permukaan aspal. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui temperatur dimana aspal dapat dipanaskan dengan aman tanpa adanya bahaya peletupan atau kebakaran yang tiba-tiba akibat adanya nyala api terbuka dan untuk mengetahui sifat bahan terhadap bahaya api, pada suhu berapa bahan tersebut akan terbakar. Apabila aspal dipanaskan sampai melebihi titik bakarnya, maka aspal akan mudah terbakar sehingga dianjurkan tidak memanaskan aspal diatas titik nyala. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan Cleveland Open Cup.

### 3) Pengujian kehilangan berat aspal (SNI 06-2440-1991)

Pengujian ini dimaksudkan sebagai acuan dan penanganan dalam pelaksanaan pengujian kehilangan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu. Tujuan pengujian ini adalah menentukan kehilangan berat minyak dan aspal, yang dinyatakan dengan persen dan berat semula.

### 4) Pengujian Daktilitas (*ductility test*) (SNI 06-2432-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan elastisitas aspal. Tujuan dari tes ini adalah untuk mengetahui jarak terpanjang (elastisitas) aspal yang ditarik antara dua cetakan yang berisi *bitument* keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

### 5) Pengujian Berat Jenis Aspal (SNI 06-2441-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis aspal dan korelasi perhitungan berat terhadap volume atau sebaliknya.

### 6) Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter (SNI 06-2434-1991)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter

yang berkisar antara 30 °C sampai 200 °C dengan menggunakan *ring and ball*. Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada saat bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun suatu lapisan aspal atau ter yang tertahan dalam cicin yang berukuran tertentu, sehingga aspal atau ter tersebut menyentuh plat dasar yang terletak pada cicin pada tinggi tertentu, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu. Persyaratan mutu aspal keras disajikan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Ketentuan untuk Aspal Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
1	Penetrasi pada 25 °C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2	Viskositas 135 °C (cSt)	SNI 06-6441-2000	385
3	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥48
4	Indeks Penetrasi	-	≥-1,0
5	Daktilitas pada 25 °C, (cm)	SNI 06-2432-1991	≥100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥232
7	Kelarutan dalam Toluene (%)	ASTM D5546	≥99
8	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥1,0
9	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-
<b>Pengujian Residu hasil TFOT atau RTFOT:</b>			
10	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤0,8
11	Penetrasi pada 25 °C (%)	SNI 06-2456-1991	≥54
12	Indeks Penetrasi	-	≥-1,0
13	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-
14	Daktilitas pada 25 °C, (cm)	SNI 062432-1991	≥100

Sumber: Ditjen Bina Marga, (2010)

## 2. Pemeriksaan Agregat Kasar

Terdapat beberapa parameter pengujian dalam pemeriksaan agregat kasar, yaitu sebagai berikut dan persyaratan mutu agregat kasar untuk bahan campuran beraspal disajikan dalam Tabel 3.4.

### 1) Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 03-1969-1990)

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dari agregat kasar, serta angka penyerapan dari agregat kasar. Tujuan percobaan ini untuk memperoleh angka berat jenis curah,

berat jenis kering permukaan dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan.

Tabel 3.4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407:2009	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC bergradasi kasar	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 03-2439-1991	Min. 95%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)		DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No. 621	95/90
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥10 cm)			80/75
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material Lolos Ayakan No. 200		SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

Sumber: Ditjen Bina Marga, (2010)

2) Pengujian analisis saringan agregat kasar dan halus (SNI 03-1968-1990)

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan, dan tujuannya adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam table atau grafik.

3) Pengujian Keausan Agregat dengan mesin Abrasi (SNI 03-2417-1991)

Percobaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Abrasi Los Angeles. Percobaan ini adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen.

4) Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal (SNI 03-1969-1990)

Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian kelekatan agregat terhadap aspal. Sedangkan tujuan metode ini adalah menentukan angka kelekatan agregat terhadap aspal.

5) Pengujian kepipihan dan kelongjongan agregat (ASTM D 4791)

Mengontrol jumlah butiran yang dapat digunakan sesuai dengan batasan dalam spesifikasi. Cara uji kepipihan dan kelongjongan agregat kasar dengan alat jangka

ukur rasio diperlukan untuk menentukan kualitas agregat kasar yang akan digunakan dalam campuran. Penentuan besarnya rasio pada waktu pengujian agregat, disesuaikan dengan persyaratan yang diinginkan.

### 3. Pemeriksaan Agregat Halus

Ada beberapa parameter pengujian dalam pemeriksaan agregat halus, yaitu dijelaskan sebagai berikut:

#### 1) Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 03-1970-1990)

Metode pengujian ini dilakukan pada tanah jenis agregat halus yaitu lolos saringan No. 4 (4,75 mm). Metode ini sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan Jenuh, berat jenis semu dan angka penyerapan dari agregat halus. Tujuannya untuk mendapatkan angka berat jenis tersebut dan angka penyerapan.

#### 2) Pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar (SNI 03-1968-1990)

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan, dan tujuan nya adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam table atau grafik. Persyaratan mutu agregat halus untuk bahan campuran beraspal disajikan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min. 70% untuk AC bergradasi Kasar
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423:2008	Maks. 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	AASHTO TP-33 atau ASTM C1252-93	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥10 cm)		Min. 40

*Sumber:* Ditjen Bina Marga, (2010)

#### 3) Pengujian Keausan Agregat dengan mesin Abrasi (SNI 03-2417-1991)

Percobaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Abrasi Los Angeles. Percobaan

ini adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen.

#### 4) Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal (SNI 03-1969-1990)

Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian kelekatan agregat terhadap aspal. Sedangkan tujuan metode ini adalah menentukan angka kelekatan agregat terhadap aspal.

### 4. Pemeriksaan Bahan Pengisi (Filler)

Bahan pengisi harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan.

Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm), sehingga berguna bagi perencanaan dan pelaksana pembangunan jalan. Jenis pengujian dan persyaratan *filler* tercantum dalam Tabel 3.6. Terdapat beberapa parameter pengujian dalam pemeriksaan *filler*, yaitu:

- 1) Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus. (SNI 15-2351-1991)
- 2) Pengujian analisis saringan agregat halus. (SNI 03-1968-1990)

Tabel 3.6 Ketentuan Bahan Pengisi (*filler*)

Sifat-sifat	Metode Pengujian	Persyaratan
Berat butiran yang lolos ayakan 75 mikron	SNI 03-4142-1996	$\geq 75\%$

Sumber: Ditjen Bina Marga, (2010)

### 5. Melakukan Pengujian *Marshall*

Setelah benda uji campuran aspal beton geopolimer disiapkan, selanjutnya akan dilakukan uji *Marshall* untuk mengetahui propertis terbaik dan mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO). Benda uji dipersiapkan dengan menggunakan prosedur tertentu baik untuk pemanasan, pencampuran maupun untuk pemadatan campuran aspal. Stabilitas benda uji adalah kemampuan maksimum benda uji yang dihasilkan pada suhu 60° dan diuji dengan alat tertentu. Nilai *flow* adalah pergerakan total atau regangan yang terjadi dalam benda uji antara kondisi tanpa beban dan beban maksimum selama pengujian stabilitas (*Asphalt Institute*, 1993).

Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (=5000 lbf) dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Metode yang digunakan untuk pembuatan aspal beton geopolimer akan mengikuti tahapan pelaksanaan metode *Marshall* (SNI 06-2489-1991 atau AASTHO T 245-90, atau ASTM D 1559-76). Untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) digunakan perencanaan menggunakan Metode *Marshall*.

- Perkiraan awal KAO ( $P_b$ )

Pada pengujian dengan alat *Marshall*, hal pertama yang dilakukan adalah menghitung perkiraan awal KAO ( $P_b$ ) dengan menggunakan Persamaan 3.2.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana:

- CA = *Coarse Aggregate* (Agregat Kasar)
- FA = *Fine Aggregate* (Agregat Halus)
- FF = *Fine Filler* (Bahan Pengisi)
- K = Konstanta, yaitu 0,5 – 1,0 untuk Laston

Nilai  $P_b$  yang diperoleh dari Persamaan di atas dibulatkan sampai 0,5% terdekat, kemudian siapkan benda uji *Marshall* pada variasi kadar aspal yaitu ( $P_b-1,0\%$ ), ( $P_b-0,5\%$ ),  $P_b$ , ( $P_b+0,5\%$ ) dan ( $P_b+1,0\%$ ) masing–masing 3 (tiga) benda uji. Benda uji yang digunakan adalah benda uji standar berbentuk tabung dengan diameter 101,6 mm (4 inch) dan tinggi 63,5 mm (2,5 inch). Pemadatan untuk uji *Marshall* dilakukan dengan penumbukan sebanyak 75 kali per bidang dengan menggunakan penumbuk. Setelah benda uji dipadatkan, kemudian disimpan pada suhu ruang selama 24 jam, selanjutnya benda uji ditimbang di udara, di dalam air dan dalam kondisi kering-permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry, SSD*) untuk mendapatkan berat jenis *bulk* (*Bulk Specific Gravity*). Selanjutnya direndam pada temperatur 60°C selama 30 menit dan siap untuk pengujian stabilitas dan *flow*. Kebutuhan benda uji campuran perkerasan aspal akan diuraikan pada Tabel 3.7.

Berdasarkan Tabel 3.7 didapatkan jumlah untuk pengujian *Marshall* adalah sebanyak 30 sampel. Pada umumnya dalam pengujian *Marshall* untuk mendapatkan kadar aspal optimum dibuat 15 buah benda uji dengan 5 variasi kadar

aspal dimana pada penelitian ini masing-masing gradasi memiliki 5 variasi kadar aspal dan setiap variasi kadar aspal digunakan 3 buah benda uji alasannya untuk melihat konsistensi dari 3 benda uji tersebut per variasinya, sehingga dibutuhkan 30 sampel untuk dua gradasi berbeda.

Tabel 3.7 Kebutuhan benda uji untuk pengujian *Marshall*

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji	
	Gradasi Rapat	Gradasi Terbuka
Pb – 1,0	3	3
Pb – 0,5	3	3
Pb	3	3
Pb + 0,5	3	3
Pb + 1	3	3
Jumlah Benda Uji Masing-masing Campuran	15	15
Total Benda Uji	30 sampel	

Berikut adalah karakteristik pengujian *Marshall* terdiri dari:

#### 1. Kepadatan (*density*)

Kepadatan merupakan perbandingan antara berat kering benda uji dengan berat air pada volume yang sama. Kepadatan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3:

$$i = \frac{e}{(f-g)} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan:

$i$  = *density* (gr/cm<sup>3</sup>);

$e$  = berat kering (gr);

$f$  = berat dalam kering keadaan jenuh permukaan (gr);

$g$  = berat dalam air (gr);

$(f - g)$  = volume bulk (cm<sup>3</sup>).

#### 2. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, ataupun *bleeding* (Sukirman, 2003). Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian *Marshall* yang kemudian dicocokkan dengan angka kalibrasi

proving ring dengan satuan lbs atau kg dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji, angka koreksi pada perhitungan stabilitas *Marshall* berdasarkan SNI 06-2489-1991 & SK SNI M-58-1990-03 dapat dilihat pada Tabel 3.8. Besarnya nilai stabilitas dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.4:

$$S = n \times f_a \times f_b \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan:

- S = Stabilitas (kg);
- n = pembacaan dial stabilitas;
- $f_a$  = faktor kalibrasi alat;
- $f_b$  = faktor koreksi benda uji

### 3. Kelelehan plastis (*flow*)

Kelelehan plastis ialah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh. *Flow* menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan. Nilai kelelehan plastis dapat langsung dibaca pada dial *flow* dan dinyatakan dalam satuan milimeter atau 0,1 *inchi*.

### 4. Target air voids

Rongga dalam campuran atau *void in mix* (VIM) adalah bagian ruang kosong dari seluruh campuran yang merupakan perbandingan volume ruang udara dengan volume sampel yang dipadatkan dan dinyatakan dalam persen. Sukirman (2003) menyatakan banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. Rongga dalam campuran dinyatakan dalam persen terhadap volume beton aspal padat, dapat dihitung dengan Persamaan 3.5:

$$k = 100 - 100 (i / j) \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan:

- k = persen rongga (%);
- i = berat volume atau density ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ );
- j = berat jenis teoritis.



$$j = \frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{B_j \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{B_j \text{ Aspal}} + \frac{\% \text{ Filler}}{B_j \text{ Filler}}}$$

Untuk nilai  $B_j$  Agregat,  $B_j$  Aspal dan  $B_j$  Filler dapat dilihat pada Lampiran A.

Tabel 3.8 Angka Koreksi Pada Perhitungan Stabilitas *Marshall*

Isi	Tebal Benda Uji	Angka Koreksi
200-213	25.4	5.56
214-225	27	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	35.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	39.7	2.5
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.4	1.92
368-379	46	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.96
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.9	0.86
574-585	71.4	0.83
586-598	73	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

#### 5. Rongga dalam mineral agregat (*void in mineral aggregate/VMA*)

Rongga didalam mineral agregat atau rongga antara butiran agregat adalah volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran perkerasan yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Perhitungan nilai rongga antar butir agregat (VMA) terhadap campuran dihitung dengan Persamaan 3.6:

$$l = 100 - \left\{ \frac{(100-b) \times i}{B_{j.agregat}} \right\}, \dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan:

- l = rongga di dalam mineral agregat (VMA);
- b = persen aspal terhadap campuran;
- i = berat volume benda uji (gr/cm<sup>3</sup>).

#### 6. Rongga terisi aspal (*void filled by asphalt*)

Rongga terisi aspal atau *void filled by asphalt* (VFA) adalah merupakan perbandingan antara rongga-rongga yang terisi aspal dengan volume benda uji. Sukirman (2003) menyebutkan persentase pori antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFA. Jadi VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Aspal yang mengisi pori-pori berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, atau dengan kata lain VFA merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal. Besarnya nilai rongga terisi aspal dapat dihitung dengan Persamaan 3.7:

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - V_a)}{VMA} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan:

- VFA = rongga terisi aspal, persen VMA;
- VMA = rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk;
- V<sub>a</sub> atau VIM = rongga di dalam campuran, persen total campuran

## 7. Marshall Quotient (MQ)

*Marshall Quotient* adalah perbandingan nilai stabilitas dan *flow*. Nilai stabilitas *Marshall* yang tinggi dan *flow* yang rendah menunjukkan campuran aspal beton yang kaku, sehingga bila menerima beban mudah retak. Besarnya nilai *Marshall Quotient* dapat diperoleh dengan Persamaan 3.8:

$$MQ = \frac{S}{flow} \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan:

- MQ = nilai *Marshall* quotient (kg/mm);
- S = nilai stabilitas *Marshall* (kg);
- Flow = pembacaan dial *flow* (mm).

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Armin (2019) dan Putri (2018) diketahuilah hasil terbaik perbandingan proporsi agregat dan kemiringan granulator untuk membuat agregat buatan berbahan dasar geopolimer. Setelah agregat buatan berbahan dasar geopolimer terbentuk dibuatlah sampel benda uji untuk dilakukan uji propertis *Marshall* untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum. Hasil Pengujian *Marshall* untuk campuran perkerasan bandara harus memenuhi persyaratan seperti pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10.

Tabel 3.9 Persyaratan Campuran Lapis Aspal Beton untuk Bandara

Properties pengujian	Desain perkerasan untuk berat pesawat ( <i>gross weights</i> ) $\geq 60.000$ Lbs ( $\geq 27216$ kg) dan <i>Tire pressures</i> $\geq 100$ psi
Jumlah Tumbukan	75
Stabilitas, pounds (Newtons) minimum	2150 (9560)
Flow	10-16
Target air voids	3.5
VMA	15%

Sumber: Federal Aviation Administration (2014)

Pada Petunjuk dan Pelaksanaan Teknis Pekerjaan Aspal Beton oleh Ditjen Perhubungan Udara, lapisan beton aspal adalah lapisan perkerasan lentur (*Flexible*) yang terdiri dari campuran aspal dengan agregat (batu pecah) yang bergradasi,

campuran ini diproses melalui AMP (*Asphalt Mixing Plant*) atau mesin pencampur aspal kemudian campuran ini dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu.

Tabel 3.10 Persyaratan Campuran Lapis Aspal Beton oleh Kemenhub

Jenis Tes	Surface Course/AC
Stability	2200 lbs
Flow	2-4 mm
Void in total mix	3-4 %
Void filled with bitumen	76-82 %
Void mix in asphalt	15%

Sumber: Ditjen Perhubungan Udara (2013)

## 6. Melakukan Pengujian Perendaman

Pengujian perendaman *Marshall* ini dilakukan untuk melihat ketahanan campuran terhadap pengaruh kerusakan oleh air. Air pada campuran beraspal dapat mengakibatkan berkurangnya daya lekat aspal terhadap agregat, sehingga dapat melemahkan ikatan antar agregat. Hasil yang berbeda pada masing-masing jenis campuran akan sifat stabilitas *Marshall* dapat dibaca pada indeks stabilitas sisa dimana stabilitas sebelum direndam dibandingkan dengan stabilitas yang direndam selama 24 jam. Pengujian tersebut adalah uji durabilitas standar yang dilakukan di dalam *waterbath* dengan kondisi temperatur  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ . Sebenarnya kondisi seluruh benda uji baik yang kering maupun basah tetap direndam dalam *waterbath*. Hanya saja benda uji yang kering hanya direndam selama  $30 \pm 1$  menit untuk memastikan benda uji tersebut dalam keadaan hampa udara, sedangkan benda uji basah direndam selama  $24 \pm 1$  jam agar benar-benar dalam kondisi jenuh air dan panas seperti kondisi di lapangan. Uji perendaman terdiri dari 3 sampel yang direndam pada bak perendaman untuk semua sampel kadar aspal optimum. Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian *Marshall* perendaman didalam air pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Kebutuhan benda uji campuran aspal beton akan diuraikan pada Tabel 3.11. Dari Tabel 3.11 pengujian *Marshall* standar dengan waktu 30 menit masing-masing gradasi memiliki 3 buah benda uji, begitu juga dengan pengujian yang dilakukan selama 24 jam masing-masing gradasi memiliki 3 buah benda uji yang dimana 3 benda uji dibuat agar mempermudah melihat konsistensi yang terjadi tiap gradasi.

Tabel 3.11 Kebutuhan benda uji untuk pengujian perendaman

Pengujian	Jumlah Benda Uji	
	Gradasi Rapat	Gradasi Terbuka
Direndam air suhu 60°C selama 24 jam	3	3
<i>Marshall</i> Standar	3	3
Total Benda Uji	12	

Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (IRS), dan dihitung dengan Persamaan 3.9 sebagai berikut:

$$IRS = (MSi/MSs) \times 100\% \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan:

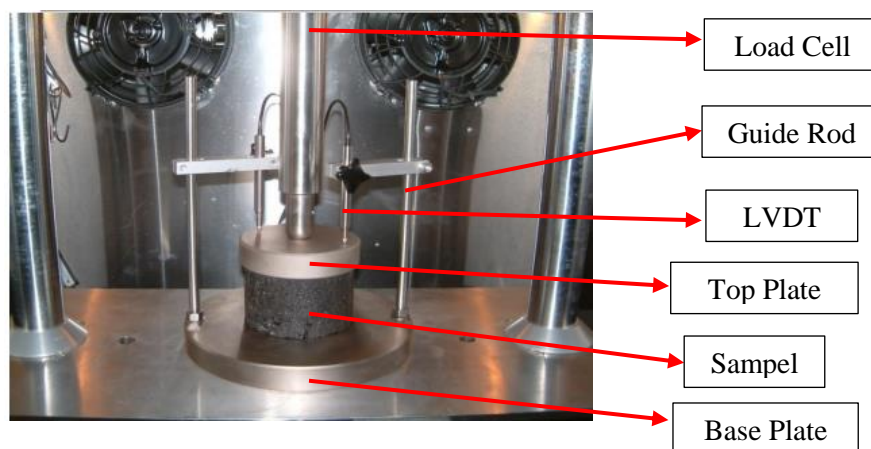
IRS : Indeks Kekuatan Sisa (*Index of Retained Strength*) (%).

MSi : Stabilitas *Marshall* setelah perendaman 24 jam pada suhu 60±1°C (kg)

MSs : Stabilitas *Marshall* standar perendaman selama 30±1 menit suhu 60°C (kg)

## 7. Melakukan Pengujian Ketahanan Deformasi (*Creep*)

Setelah nilai propertis *Marshall* dan KAO diketahui maka akan dibuat sampel pada gradasi terbuka dan dilakukan pengujian *Creep* untuk menentukan nilai ketahanan deformasi campuran aspal beton geopolimer. Alat uji *Creep* adalah alat yang digunakan untuk memperkirakan ketahanan benda uji terhadap deformasi permanen akibat beban aksial konstan (Dandamanu, 2003). Pada penelitian ini sampel diberi beban dinamis dan deformasinya direkam, dengan konfigurasi seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Konfigurasi uji Creep

Untuk dimensi benda uji dari uji *Creep* yaitu, tinggi 6,6 cm dan diameter 10,16 cm dengan volume benda uji sebesar 534,8 cm<sup>3</sup>.

Temperatur pengujian dilakukan pada suhu 60°C untuk mewakili temperatur lingkungan yang ekstrim. Sampel dikondisikan selama minimal 2 jam pada temperatur testing sebelum pengujian dilaksanakan dengan pembebanan dinamis. Tes *Creep* dinamis biasanya dihentikan pada beban dinamis sejumlah 3600 kali pembebanan (*pulse*) dengan 1 jam komulatif waktu pembebanan. Karena jarak antar pembebanan 2 detik, maka total waktu untuk test adalah 2 detik/pulse x 3600 pulse, yaitu selama 2 jam. Parameter uji dihitung dengan Persamaan 3.10.

Persamaan 3.10:

$$E_n = \frac{\sigma}{\epsilon_n} \dots\dots\dots (3.10)$$

Dimana:

$E_n$  = modulus kekakuan rangkak (*creep stiffness modulus*) pada aplikasi  $n$  beban (MPa)

$\sigma$  = tekanan (kPa)

$\epsilon_n$  = regangan axial komulatif pada  $n$  aplikasi beban (*microstrain*)

Dari Persamaan 3.10 dapat dihitung nilai kekakuan dari total tekanan ( $\sigma$ ) dibagi dengan regangan axial ( $\epsilon_n$ ), akan tetapi untuk nilai regangan axial ( $\epsilon_n$ ) atau nilai ketahanan deformasi sudah diketahui dari output hasil pengujian *Creep*.

Pengujian ketahanan deformasi (*creep*) akan dilakukan secara Dinamis, dengan prosedur sebagai berikut:

1. Set Transducer yang sesuai pada saluran/channel IMAC  
 Pilih menu uji *permanent deformation (UTS014)*, dan in put Data dan *Set Up Parameters*, —► Pilih axial loading Static atau Haversine (dynamic).  
 Uji *dynamic creep* dilakukan dengan memakai alat *Universal Testing Machine* (UTM) seperti terlihat pada Gambar 3.3 dengan seting parameter sesuai ketentuan dalam *British Standard* (BS EN 12697–25:2005) yang tertera pada Tabel 3.12.

2. Setting Sampel, Load Actuator dan Transducer Level, dan start test Sampel yang diuji, Load actuator/piston dan transducer level di set dengan memakai virtual pendant dan transducer level menu. Set transducer level, setelah itu *start test*.

Table 3.12 Standar seting parameter uji *Creep*

No	Parameter	Static Loading	Dynamic Loading
Axial loading, function: Haversine			
1	Cyclic loading stress (kPa)	100	100
2	Seating stress (kPa)	-	5
3	Loading cycle width (ms)	1000	1000
4	Load cycle repeat time (ms)	1000	1000
Static pre loading			
1	Axial stress (kPa)	20	20
2	Time duration (s)	600	600
Test Termination			
1	Max cycle count	3600	3600
2	Total axial, microstrain ( $\mu\epsilon$ )	100000 or more	-
Performance Tuning			
1	Proportional	3000, increment 100	3000, increment 100
2	Integral	10, increment 1	10, increment 1
3	Derivative	1200, increment 10	1200, increment 10

Sumber: (BS EN 12697–25:2005)

Berdasarkan Tabel 3.12 terdapat beberapa parameter control pengujian dan *test termination* yaitu antara lain:

#### 1. Axial loading, function: Haversine

Ini merupakan sebuah set *checkboxes* antara *static loading* atau *cyclic loading* dengan bentuk gelombang Haversine atau *rectangular*. Kontrol ini memengaruhi visibilitas beberapa bidang entri parameter berikut.

## 2. *Cyclic loading stress*

Entri data ini menentukan *load cycle stress* dan merupakan tambahan untuk *seating stress* (mis. Tegangan maksimum yang diterapkan adalah jumlah *seating stress* dan *cyclic loading stress*).

## 3. *Seating stress*

Entri data ini mendefinisikan tekanan yang diterapkan oleh sistem pembebanan untuk menempatkan sampel ke dalam jig.

## 4. *Loading cycle width*

Bidang entri data ini menentukan lebar bentuk gelombang pembebanan dalam milidetik. Lebar minimum adalah 20 ms dan maksimum tidak melebihi waktu pengulangan beban berulang.

## 5. *Load cycle repeat time*

Bidang entri data ini menentukan frekuensi pembebanan/*pulse* dan berkisar dari 200 milidetik (5Hz) hingga 10 detik (0,1Hz).

## 6. *Static loading stress*

Bidang entri data ini menentukan tekanan pembebanan aksial yang akan diterapkan ketika pada *checkbox* dipilih *static axial loading function*.

## 7. *Pre-load stress*

Bidang entri data ini menentukan tingkat tekanan aksial yang diterapkan selama tahap uji *pre-load* opsional.

## 8. *Pre-load time*

Bidang entri data ini menentukan durasi waktu dalam detik dari tahap *pre-load* opsional. Nilai nol menonaktifkan tahap *pre-load*.



## 9. Confining stress

*Confined test* dapat ditentukan dengan memilih “*enable confine axis control*” pada *checkbox* dan kemudian masukkan nilai tegangan statis yang diperlukan di bidang entri data yang terkait.

## 10. Test termination

*Test termination* dapat ditentukan antara jumlah *load cycle* maksimum, regangan aktuator maksimum yang terakumulasi atau pada batas kemampuan mesin yang dicapai.

Pada Gambar 3.3 dapat dilihat seperangkat alat UTM30 *Dynapave* yang digunakan untuk pengujian *Creep* dan alat tersebut temperatur pengujiannya dapat diseting secara manual. Selain alat tersebut terdapat satu PC atau komputer yang berfungsi untuk mengatur set up parameter pengujian dan merekam hasil pengujian dari alat UTM30 *Dynapave* sehingga menghasilkan output berbentuk file excel dan PDF yang kemudian dianalisis data yang dihasilkan untuk mengetahui nilai ketahanan deformasi suatu campuran.



Gambar 3.3 Perangkat alat UTM30 *Dynapave* (Thanaya, 2017)

### 3.3.4 Tahap Analisa Data

Analisis data hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik kinerja campuran aspal beton dengan agregat buatan *flyash* dan alkali aktivator pada gradasi rapat dan gradasi terbuka untuk perkerasan *runway* bandara. Sehingga

diketahui nilai propertis *Marshall*, nilai kadar aspal optimum dan nilai ketahanan deformasi (*Creep*) dari perkerasan *runway* bandara. Untuk uji *Creep* hanya gradasi terbuka (BBA) yang akan dilakukan pengujian, sementara gradasi rapat (FAA) tidak dilakukan pengujian karena terkendala biaya pengujian.

▪ Kebutuhan Benda Uji

Setelah ditetapkan jumlah benda uji untuk setiap masing-masing pengujian, maka dihitung jumlah keseluruhannya. Jumlah total kebutuhan benda uji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.13.

Analisis data hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja campuran aspal beton pada agregat buatan *flyash* dengan alkali aktivator pada gradasi FAA dan BBA dengan variasi suhu yang berbeda.

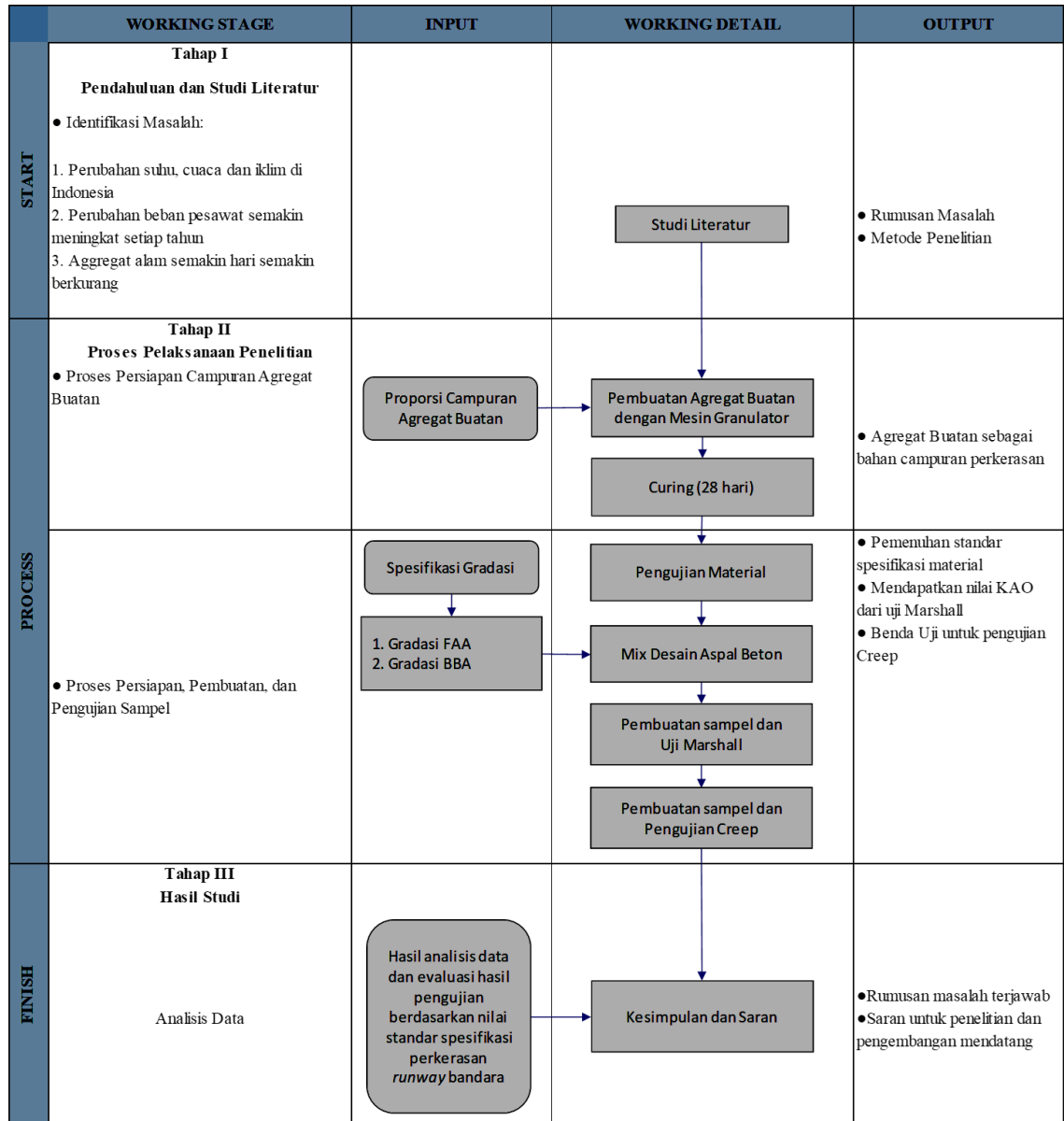
Tabel 3.13 Rekapitulasi Jumlah Kebutuhan Benda Uji

No.	Jenis Pengujian	Kondisi Pengujian		Jumlah Benda Uji		Jumlah Benda Uji
				Gradasi Rapat	Gradasi Terbuka	
				(FAA)	(BBA)	
1	Pengujian <i>Marshall</i>	Kadar Aspal	Pb – 1,0	3	3	6
			Pb – 0,5	3	3	6
			Pb	3	3	6
			Pb + 0,5	3	3	6
			Pb + 1	3	3	6
2	Pengujian Perendaman	Waktu dan Suhu Perendaman Air	60° C (24jam)	3	3	6
			<i>Marshall</i> Standar	3	3	6
3	Pengujian <i>Creep</i>	Temperatur Uji 60° C	Tiga variasi uji			
			100 kPa	0	3	3
			400 kPa	0	3	3
			500 kPa	0	3	3
Total Kebutuhan Benda Uji				21	30	51 sampel

Berdasarkan Tabel 3.13 jumlah benda uji untuk pengujian *Marshall* adalah 30 buah, masing-masing 15 buah untuk gradasi FAA dan 15 buah untuk gradasi BBA. Sementara pengujian Perendaman atau IRS jumlahnya 12 buah, dengan masing-masing benda uji 6 buah untuk gradasi FAA dan 6 buah untuk gradasi BBA. Pengujian terakhir yaitu *Creep Test* dengan jumlah benda uji yaitu 9 buah hanya untuk gradasi BBA dengan total keseluruhan benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah 51 benda uji.

### 3.4 Bagan Alir Metodologi Penelitian

Untuk mempermudah dalam menyelesaikan penelitian ini, maka dibuatlah bagan alir penelitian seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Bagan Alir Penelitian

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB IV

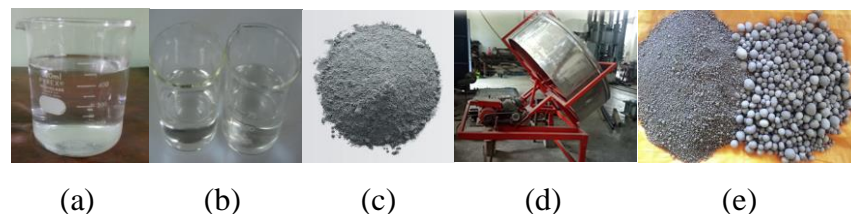
### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembuatan Agregat Buatan Geopolimer

Agregat buatan geopolimer dibuat dengan menggunakan mesin granulator dengan bahan utamanya yaitu *flyash* dan alkali aktivator dengan perbandingan 75%:25%. Untuk alkali aktivatornya menggunakan campuran sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) 8 mol dengan perbandingan 1:2,5. Berikut dijelaskan langkah untuk perhitungan kebutuhan *flyash* dan alkali aktivator ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$ ):

- a. Total berat *flyash* dan alkali aktivator yaitu 2000 gram perbandingan 75%:25%, maka:
  - 75% dari berat *flyash* adalah  $2000 \text{ gram} \times 75\% = 1500 \text{ gram}$
  - 25% dari berat alkali aktivator adalah  $2000 \text{ gram} \times 25\% = 500 \text{ gram}$
- b. Total berat alkali aktivator ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$ ) yaitu 500 gram perbandingan 1:2,5, maka:
  - Berat  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = \frac{2,5}{3,5} \times 500 \text{ gram} = 357,14 \text{ gram}$
  - Berat  $\text{NaOH} = \frac{1}{3,5} \times 500 \text{ gram} = 142,86 \text{ gram}$

Berdasarkan perhitungan seperti di atas, maka didapatkan kebutuhan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan agregat buatan geopolimer. Bahan yang dibuat untuk agregat buatan geopolimer diperlihatkan pada Gambar 4.1, sedangkan kebutuhan agregat buatan geopolimer untuk gradasi BBA dan FAA ditunjukkan dalam Tabel 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Pembuatan Agregat Buatan Geopolimer

Pada Gambar 4.1 diketahui (a) NaOH (b) Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (c) *flyash*, kemudian dicampurkan didalam (d) mesin granulator dengan kemiringan 50°C, larutan alkali aktivator (a) dan (b) yang sudah dicampurkan disemprotkan sedikit demi sedikit sehingga terbentuklah (e) agregat buatan geopolimer.

Tabel 4.1 Kebutuhan Agregat Buatan Geopolimer (Gadasi FAA)

No. Ayakan		Gradasi rapat ( <i>dense graded</i> )					Rasio	
		spesifikasi FAA					25%	75%
		Batas bawah (%)	Batas tengah (%)	Batas atas (%)	Tertahan pada masing-masing saringan (Batas Tengah)		AB	AA
In	mm				(%)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4	19	100	100	100	0,0	0	-	-
1/2	12	79	89	99	11,0	132	33	99
3/8	9	68	78	88	11,0	132	33	99
No.4	4,75	48	58	68	20,0	240	60	180
No.8	2,36	33	43	53	15,0	180	45	135
No.16	1,18	20	30	40	13,0	156		156
No. 30	0,6	14	22	30	8,0	96		96
No.50	0,3	9	15	21	7,0	84		84
No.100	0,15	6	11	16	4,0	48		48
No.200	0,075	3	4,5	6	6,5	78		78
Pan					4,5	54		54
Jumlah					100,0	1200	171	1.029

Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Buatan Geopolimer (Gadasi BBA)

No. Ayakan		Gradasi terbuka ( <i>open graded</i> )					Rasio	
		spesifikasi BBA					25%	75%
		Batas bawah (%)	Batas tengah (%)	Batas atas (%)	Tertahan pada masing-masing saringan (Batas Tengah)		AB	AA
In	mm				(%)	(gr)	(gr)	(gr)
¾	19	100	100	100	0	0	0	0
½	12,5	80	90	100	10	120	30	90
3/8	9,5	60	65	70	25	300	75	225
No.4	4,75	36	40	44	25	300	75	225
No.10	2	33	36,5	40	3,5	42		42
No.80	0,268	10	17,5	25	19	228		228
No.200	0,074	6	7,5	9	10	120		120
Pan					7,5	90		90
Jumlah					100	1200	180	1020

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 diketahui kebutuhan agregat buatan pada gradasi terbuka (BBA) sebesar 180 gram sedangkan pada gradasi rapat (FAA) sebesar 171 gram dengan total berat 1200 gram persampel. Agregat buatan geopolimer hanya digunakan pada agregat kasar dengan perbandingan 25%:75% sudah sesuai juga dengan penelitian Widayanti (2019) dan Baskara (2019). Untuk perhitungan (%) dan berat tertahan menggunakan nilai batas tengah (BT)

masing-masing saringan berturut-turut, contoh perhitungannya pada gradasi BBA, yaitu sebagai berikut:

$$\% \text{ tertahan} = \text{BT no. } \frac{3}{4} - \text{BT no. } \frac{1}{2} = 100 - 90 = 10\%$$

$\% \text{ tertahan} = \text{BT no. } \frac{1}{2} - \text{BT no. } \frac{3}{8} = 90 - 65 = 25\%$  dst. sampai dengan pan dan ketika dijumlahkan seluruh hasilnya 100%.

Total berat per sampel adalah 1200 gram yang mengacu pada ASTM D-1550-27 dan SNI 06-2489-1991, nilai total berat kemudian didistribusikan pada masing-masing saringan sesuai dengan (%) tertahan pada tiap-tiap nomor ayakan dan contoh perhitungannya dari ayakan no.  $\frac{1}{2}$  dan ayakan no.  $\frac{3}{8}$  sebagai berikut:

$$\text{Aayakan no. } \frac{1}{2} = 10\% \times 1200 \text{ gram} = 120 \text{ gram}$$

120 gram ini merupakan berat yang diperlukan untuk nomor ayakan  $\frac{1}{2}$ , selanjutnya,

Aayakan no.  $\frac{3}{8} = 25\% \times 1200 \text{ gram} = 300 \text{ gram}$  dst. sampai dengan pan dan ketika dijumlahkan seluruh hasilnya 1200 gram. Ketika telah diketahui berat dari masing-masing nomor ayakan sampai dengan pan, kemudian didistribusikan lagi sesuai dengan rasio perbandingan 25% agregat buatan (AB) : 75% agregat alam (AA), contoh perhitungannya ayakan no.  $\frac{1}{2}$  sebagai berikut:

Aayakan no.  $\frac{1}{2}$  berat tertahan 120 gram  $\times 25\%$  AB = 30 gram AB dan

$$120 \text{ gram} \times 75\% \text{ AA} = 90 \text{ gram AA} \text{ dst.}$$

#### 4.2 Pengujian Material

Berdasarkan pengujian yang dilaksanakan di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Konstruksi Jalan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember didapatkan hasil pengujian terhadap material yang digunakan sebagai material untuk campuran beraspal antara lain aspal penetrasi 60/70, agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Standar Pengujian didasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 yang dilengkapi dengan *American Association of State Highway and*

*Transportation Officials* (AASHTO), dan *American Society for Testing Materials* (ASTM).

#### 4.2.1 Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Karakteristik aspal penetrasi 60/70 ini akan diperiksa sesuai persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Hasil dari pengujian karakteristik aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Dari Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi karakteristik yang telah ditentukan sehingga dapat digunakan pada campuran perkerasan jalan.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	60 – 70	65
2	Titik Lembek (°C)	$\geq 48$	56
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	$\geq 100$	115
4	Titik Nyala (°C)	$\geq 232$	330
5	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,033

#### 4.2.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar yang di uji umumnya tertahan pada saringan No.8 atau saringan 2,36 mm. Agregat kasar merupakan batu pecah mesin dengan ukuran maksimum tertahan saringan  $\frac{3}{4}$ ". Hasil pengujian agregat kasar ditunjukkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis Semu, gr/cm <sup>3</sup>	min. 2,5	2,703
	Berat Jenis Bulk, gr/cm <sup>3</sup>		2,542
2	Penyerapan Air, %	maks. 3	2,349
3	Kekalan agregat terhadap larutan magnesium sulfat, %	maks. 18	9,700
4	Abrasi dengan Mesin Los Angeles, %	maks. 40	30,8
5	Kelekatan agregat terhadap aspal, %	min. 95	98

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa pemeriksaan agregat kasar meliputi berat jenis bulk, berat jenis semu, penyerapan air, kelekatan agregat terhadap magnesium



sulfat, abrasi, dan kelekatan terhadap aspal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat kasar sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

#### 4.2.3 Pemeriksaan Agregat Halus dan Filler

Agregat halus yang di uji umumnya lolos saringan No.8 atau saringan ukuran 2,36 mm sedangkan filler adalah material yang lolos ayakan no. 200 atau saringan 0,075 mm. Secara umum pengujian agregat halus sama dengan agregat kasar, akan tetapi pada pengujian agregat halus diperlukan ketelitian yang tinggi karena gradasi yang halus lebih sulit pengujiannya daripada agregat kasar. Hasil pengujian agregat halus dan filler ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Agregat Halus dan Filler

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
<b>1. Agregat Halus</b>			
1	Berat Jenis Bulk, gr/cm <sup>3</sup>	min. 2,5	2,557
	Berat Jenis Semu, gr/cm <sup>3</sup>		2,767
2	Penyerapan Air, %	maks. 3	2,965
<b>2. Filler</b>			
1	Berat Jenis, gr/cm <sup>3</sup>	min. 2,5	2,614
	Berat Jenis Semu, gr/cm <sup>3</sup>		2,726

Dari Tabel 4.5 hasil pengujian dapat diketahui bahwa agregat halus dan filler yang digunakan memenuhi spesifikasi karakteristik yang telah ditentukan sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran perkerasan jalan.

#### 4.2.4 Agregat Buatan Geopolimer

Geopolimer merupakan material yang disintesis secara geokimia menggunakan bahan dasar mineral alumina silikat. Seperti yang telah dijelaskan pada BAB II, aktivator yang digunakan sebagai sintesis *flyash* adalah 8 molar, terdiri dari sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Kedua bahan campuran agregat buatan ini diolah dengan komposisi campuran dan spesifikasi properties yang telah didapatkan berdasarkan penelitian yang telah ada (Karyawan, Ahyudanari, & Ekaputri, 2017).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa agregat buatan ini belum memenuhi persyaratan Spesifikasi yaitu nilai berat jenis dan penyerapan air masih diatas 3%

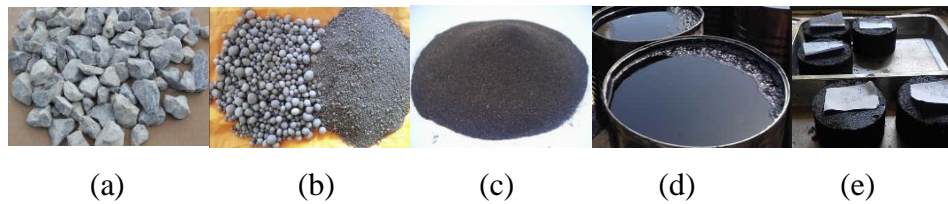
tetapi untuk nilai kelekatan, abrasi dan kekekalan agregat memenuhi persyaratan spesifikasi. Walaupun terdapat nilai yang belum memenuhi standar pada pemeriksaan agregat buatan, komposisi agregat buatan yang digunakan pada penelitian ini merupakan komposisi terbaik dari campuran agregat buatan yang telah diteliti sebelumnya (Karyawan, 2017) dan memiliki nilai parameter pengujian lainnya yang memenuhi nilai standar spesifikasi yang ditentukan. Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian agregat buatan.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Agregat Buatan Geopolimer

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis Bulk, $\text{gr/cm}^3$	min. 2,5	1.85
	Berat Jenis Semu, $\text{gr/cm}^3$		2.09
2	Penyerapan Air, %	maks. 3	6.08
3	Kekekalan agregat terhadap larutan Magnesium Sulfat, %	maks. 18	5.219
4	Abrasi dengan Mesin Los Angeles, %	maks. 40	22.78
5	Kelekatan agregat terhadap aspal, %	min. 95	97

### 4.3 Pembuatan Sampel dan Pengujian *Marshall*

Setelah melakukan pemeriksaan terhadap material yang digunakan, selanjutnya yaitu menentukan proporsi material dan merencanakan campuran aspal beton untuk dilakukan pengujian *Marshall*. Dalam hal ini campuran dibuat dalam dua gradasi yaitu gradasi rapat berdasarkan spesifikasi FAA dan gradasi terbuka berdasarkan spesifikasi BBA untuk perkerasan *surface runway* bandara. Pembuatan campuran aspal beton dan pengujian *Marshall* dilakukan di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Jalan Departemen Teknik Sipil ITS, Surabaya. Sebelum pembuatan sampel dilakukan, terlebih dahulu menentukan perkiraan awal kadar aspal optimum ( $P_b$ ) untuk setiap jenis gradasi. Nilai  $P_b$  yang diperoleh dibulatkan sampai 0,5% terdekat, kemudian siapkan benda uji *Marshall* pada variasi kadar aspal yaitu ( $P_b-1,0\%$ ), ( $P_b-0,5\%$ ),  $P_b$ , ( $P_b+0,5\%$ ) dan ( $P_b+1,0\%$ ) masing-masing 3 (tiga) benda uji. Bahan yang digunakan untuk pembuatan sampel benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pembuatan Sampel Benda Uji

Berdasarkan dari Gambar 4.2 diketahui (a) Agregat Alam (b) Agregat Buatan (c) Agregat Halus dan *Filler* (d) Aspal pen 60/70 (e) Benda Uji

#### 4.3.1 Penentuan ( $P_b$ ) dan Kebutuhan Agregat

1. Penentuan kadar aspal perkiraan ( $P_b$ ) dan kebutuhan agregat untuk gradasi FAA

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18(\%FF) + K \\
 &= 0.035 (57) + 0,045 (38,5) + 0,18 (4,5) + 0,75 \\
 &= 5,3 \% \approx 5,5\%
 \end{aligned}$$

Jadi, kadar aspal perkiraan untuk gradasi FAA adalah 5,5% dengan variasi kadar aspalnya yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Adapun kebutuhan agregat untuk gradasi FAA sesuai dengan variasi kadar aspalnya tercantum pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Kebutuhan Agregat untuk Gradasi FAA

No. Ayakan			Kadar Aspal Rencana															
			Tertahan pada masing-masing saringan (Batas Tengah)		4,5%		% tertahan	5%		% tertahan	5,5%		% tertahan	6%		% tertahan	6,5%	
					54 gram			60 gram			66 gram			72 gram			78 gram	
					AB	AA		AB	AA		AB	AA		AB	AA		AB	AA
in	mm	(%)	gr	AB	AA	gr	AB	AA	gr	AB	AA	gr	AB	AA	gr	AB	AA	
3/4	19	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/2	12	11	126,06	31,52	94,55	125,40	31,35	94,05	124,74	31,19	93,56	124,08	31,02	93,06	123,42	30,86	92,57	
3/8	9	11	126,06	31,52	94,55	125,40	31,35	94,05	124,74	31,19	93,56	124,08	31,02	93,06	123,42	30,86	92,57	
No.4	4,75	20	229,20	57,30	171,90	228,00	57,00	171,00	226,80	56,70	170,10	225,60	56,40	169,20	224,40	56,10	168,30	
No.8	2,36	15	171,90	42,98	128,93	171,00	42,75	128,25	170,10	42,53	127,58	169,20	42,30	126,90	168,30	42,08	126,23	
No.16	1,18	13	148,98	-	148,98	148,20	-	148,20	147,42	-	147,42	146,64	-	146,64	145,86	-	145,86	
No. 30	0,6	8	91,68	-	91,68	91,20	-	91,20	90,72	-	90,72	90,24	-	90,24	89,76	-	89,76	
No. 50	0,3	7	80,22	-	80,22	79,80	-	79,80	79,38	-	79,38	78,96	-	78,96	78,54	-	78,54	
No.100	0,15	4	45,84	-	45,84	45,60	-	45,60	45,36	-	45,36	45,12	-	45,12	44,88	-	44,88	
No.200	0,075	6,5	74,49	-	74,49	74,10	-	74,10	73,71	-	73,71	73,32	-	73,32	72,93	-	72,93	
Pan		4,5	51,57	-	51,57	51,30	-	51,30	51,03	-	51,03	50,76	-	50,76	50,49	-	50,49	
Jumlah		100	1.146	163,31	982,70	1.140	162,45	977,55	1.134	161,60	972,41	1.128	160,74	967,26	1.122	159,89	962,12	

2. Penentuan kadar aspal perkiraan ( $P_b$ ) dan kebutuhan agregat untuk gradasi BBA

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18(\%FF) + K \\
 &= 0.035 (60) + 0,045 (32,5) + 0,18 (7,5) + 0,75 \\
 &= 5,7 \% \approx 6\%
 \end{aligned}$$

Jadi, kadar aspal perkiraan untuk gradasi BBA adalah 6% dengan variasi kadar aspalnya yaitu 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%, 7%. Adapun kebutuhan agregat untuk gradasi FAA sesuai dengan variasi kadar aspalnya tercantum pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Kebutuhan Agregat untuk Gradasi BBA

No. Ayakan		Kadar Aspal Rencana															
		Tertahan pada masing- masing saringan (Batas Tengah)		5%		% tertahan	5,5%		% tertahan	6%		% tertahan	6,5%		% tertahan	7%	
				60 gram			66 gram			72 gram			78 gram			84 gram	
				AB	AA		AB	AA		AB	AA		AB	AA		AB	AA
In	mm	(%)	(gr)	AB	AA	(gr)	AB	AA	(gr)	AB	AA	(gr)	AB	AA	(gr)	AB	AA
¾	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
½	12,5	10	114	28,5	85,5	113,4	28,35	85,05	112,8	28,2	84,6	112,2	28,05	84,15	111,6	27,9	83,7
3/8	9,5	25	285	71,25	213,75	283,5	70,875	212,625	282	70,5	211,5	280,5	70,125	210,375	279	69,75	209,25
No.4	4,75	25	285	71,25	213,75	283,5	70,875	212,625	282	70,5	211,5	280,5	70,125	210,375	279	69,75	209,25
No.10	2	3,5	39,9		39,9	39,69		39,69	39,48		39,48	39,27		39,27	39,06		39,06
No.80	0,268	19	216,6		216,6	215,46		215,46	214,32		214,32	213,18		213,18	212,04		212,04
No.200	0,074	10	114		114	113,4		113,4	112,8		112,8	112,2		112,2	111,6		111,6
Pan		7,5	85,5		85,5	85,05		85,05	84,6		84,6	84,15		84,15	83,7		83,7
Jumlah		100	1140	171	969	1134	170,1	963,9	1128	169,2	958,8	1122	168,3	953,7	1116	167,4	948,6

Berdasarkan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 sampel didesain berdasarkan berat yaitu 1200 gram berat total persampel dan tidak didesain berdasarkan volume sampel karena berat jenis agregat buatan dan agregat alam berbeda, meskipun total berat sampel sama akan tetapi volume sampel yang menggunakan agregat buatan akan lebih besar. Setelah menentukan nilai perkiraan awal kadar aspal optimum ( $P_b$ ) untuk setiap jenis gradasi, selanjutnya membuat sampel benda uji sesuai dengan prosedur dari ASTM D-1550-E27 dan SNI 06-2489-1991 dan kemudian dilakukan pengujian *Marshall* untuk menentukan nilai propertis *Marshall*. Contoh perhitungan kebutuhan agregat ditiap-tiap variasi kadar aspal rencana ( $P_b$ ) pada gradasi BBA sebagai berikut:

Nilai ( $P_b$ ) = 6% dengan total berat 1200 gram, maka:

berat ( $P_b$ ) = 6% x 1200 gram = 72 gram untuk berat kadar aspal rencana dst. Jadi, untuk total berat agregat (setelah dikurangi berat kadar aspal rencana) = 1200 gram – 72 gram = 1128 gram yang akan didistribusikan pada masing-masing nomor saringan, contoh:

ayakan no. ½ (%) tertahan = 10%, maka 1128 gram x 10% = 112,8 gram

ayakan no. 3/8. (%) tertahan = 25%, maka  $1128 \text{ gram} \times 25\% = 282 \text{ gram}$ , dst. Dari berat tertahan tersebut pada masing-masing saringan didistribusikan kemabali sesuai rasio perbandingan 25% Agregat Buatan (AB) : 75% Agregat Alam (AA).

Setelah itu diuji *Marshall* dan dipeoleh data bacaan, dapat dilihat pada Tabel 4.9 selanjutnya menentukan nilai propertisnya seperti stabilitas, *flow*, target air void (VIM), VMA, VFB dan MQ kemudian menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) berdasar data propertis tersebut.

Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian *Marshall*

Kadar Aspal	Gradasi Rapat (FAA)			Gradasi Terbuka (BBA)		
	H	Stabilitas	Flow	H	Stabilitas	Flow
%	mm	kg	mm	mm	kg	mm
4.5	71.4	460	3.20	-	-	-
	70.7	530	2.60	-	-	-
	71.0	550	3.00	-	-	-
5	69.5	655	3.30	71.9	620	4.40
	69.3	550	2.70	71.3	725	3.30
	69.4	595	2.90	69.0	640	3.30
5.5	68.3	625	4.00	69.4	640	3.10
	68.0	615	3.50	71.3	750	3.90
	68.4	570	2.80	68.1	705	4.10
6	67.5	540	3.00	69.3	700	4.00
	66.5	650	4.00	68.5	710	4.00
	67.4	590	3.40	68.1	600	3.90
6.5	66.6	545	3.30	67.4	600	4.10
	66.4	620	3.00	68.1	595	4.00
	68.9	585	4.20	67.1	550	3.90
7	-	-	-	66.6	555	4.00
	-	-	-	66.5	580	4.30
	-	-	-	67.2	500	3.90

Dari Tabel 4.9 terdapat data hasil pengujian pada campuran dengan dua gradasi berbeda yaitu gradasi FAA dan gradasi BBA dimana tiap variasi kadar aspal dibuat sebanyak 3 sampel. Data H merupakan rata-rata tinggi benda uji kering yang diukur menggunakan jangka sorong yang mana tinggi diambil pada 3 titik di setiap

sampelnya dan dihitung rata-ratanya, sedangkan data stabilitas dan flow didapatkan dengan membaca dial secara langsung saat dilakukan pengujian *Marshall*.

Untuk perhitungan *Marshall* diperlukan data yaitu berat jenis yang didapatkan dari pemeriksaan di laboratorium. Selain itu perlu diketahui nilai koreksi benda uji, kalibrasi alat dan tinggi dari sampel yang dibuat. Analisis *Marshall* dilakukan dengan variasi kadar aspal. Contoh perhitungan berikut adalah untuk gradasi terbuka BBA dengan kadar aspal 5%. Perhitungan lengkap untuk kadar aspal lainnya dapat dilihat pada Lampiran B. Contoh perhitungan pada analisis *Marshall* adalah sebagai berikut:

- Data benda uji :

- Tinggi sampel = 71,93 mm
- Berat sampel = 1200 gram
- Berat aspal = 5% x 1200 gram = 60 gram
- Berat agregat = 100% - 5% = 95%
- Berat jenis bulk/bj semu agregat kasar = 2,542/2,703
- Berat jenis bulk/bj semu agregat halus = 2,599/2,848
- Berat jenis bulk/bj semu filler = 2,614/2,725
- Berat jenis bulk/bj semu agr. buatan = 1,85/2,09
- Berat jenis efektif agregat kasar

$$= \frac{Bj \text{ agregat} + Bj \text{ semu}}{2} = \frac{2,542 + 2,703}{2} = 2,622$$

- Berat jenis efektif (Gse)

$$= \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat kasar}}{Bj \text{ efektif kasar}} + \frac{\% \text{ agregat halus}}{Bj \text{ efektif halus}} + \frac{\% \text{ Filler}}{Bj \text{ efektif Filler}} + \frac{\% \text{ agregat buatan}}{Bj \text{ efektif agr. buatan}}}$$

$$= \frac{100}{\frac{45\%}{2,622} + \frac{32,50\%}{2,723} + \frac{7,50\%}{2,669} + \frac{15\%}{1,971}} = 2,531$$

- Berat jenis aspal = 1,033

Dari perhitungan *Marshall* akan didapat nilai Stabilitas, VIM, VMA, VFB, Flow, dan MQ. Berikut contoh perhitungan *Marshall* (gradasi BBA dengan P<sub>b</sub> 5%):

- Contoh perhitungan

- a. Nomor briket
- b. Tebal benda uji = 71,93 mm

- c. Kadar aspal = 5%
- d. Kadar agregat =  $100 - c = 100 - 5 = 95\%$
- e. Berat kering = 1173,4 gram
- f. Berat jenuh/SSD = 1194,7 gram
- g. Berat dalam air = 655 gram
- h. Volume benda uji (f-g) =  $1194,7 - 655 = 539,7$  gram
- i. Berat jenis bulk campuran padat (Gmb)
- $$= \frac{e}{h} = \frac{1173,4}{539,7} = 2,17 \text{ gr}$$
- j. Berat jenis maksimum campuran (Gmm)
- $$= \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{Bj \text{ efektif agregat}} - \frac{\% \text{ aspal}}{bj.aspal}} = \frac{100}{\frac{95\%}{2,531} - \frac{5\%}{1,033}} = 2,359$$
- k. Volume total aspal
- $$= \frac{c \times i}{bj.aspal} = 10,53 \%$$
- l. Volume total agregat
- $$= \frac{100-c}{bj.agr.efektif} \times i = 81,61 \%$$
- m. Rongga udara dalam campuran (VIM)
- $$= 100 \times \frac{j-i}{j} = 7,86 \% \text{ (spek. } 3\% - 4\%)$$
- n. Rongga antar agregat (VMA)
- $$= 100 - k = 18,39 \% \text{ (spek. } \geq 15\%)$$
- o. Rongga terisi aspal (VFB)
- $$= 100 \times \left(\frac{k}{n}\right) = 57,26 \% \text{ (spek. } 76\% - 82\%)$$
- p. Stabilitas bacaan alat = 620
- q. Stabilitas terkoreksi :
- Faktor koreksi = 0,82 (Lihat Tabel. 3.8)
- Faktor kalibrasi =  $0,454 \times 7,28 = 3,305$
- r. Stabilitas setelah koreksi
- $$= \text{stabilitas bacaan alat} \times \text{faktor koreksi} \times \text{faktor kalibrasi}$$
- $$= 1687,15 \text{ kg}$$
- s. Flow = 4,40 mm
- t. Marshall Quotient (MQ) =  $\frac{r}{s} = 383,44 \text{ kg/mm}$

#### 4.3.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum merupakan kondisi dimana suatu kandungan aspal didalam campuran mampu menghasilkan karakteristik yang memenuhi spesifikasi dan berada pada perkiraan perhitungan kadar aspal optimum rencana. Beberapa parameter seperti stabilitas, kelelahan (*flow*), kepadatan, rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam mineral agregat (VMA) diperoleh dari hasil analisis terhadap pengujian *Marshall*. Pada penelitian ini, kadar aspal optimum yang ditentukan adalah pada perkarasan *runway* bandara yang terdiri dari gradasi FAA dan gradasi BBA.

##### 1. Penentuan KAO untuk gradasi FAA

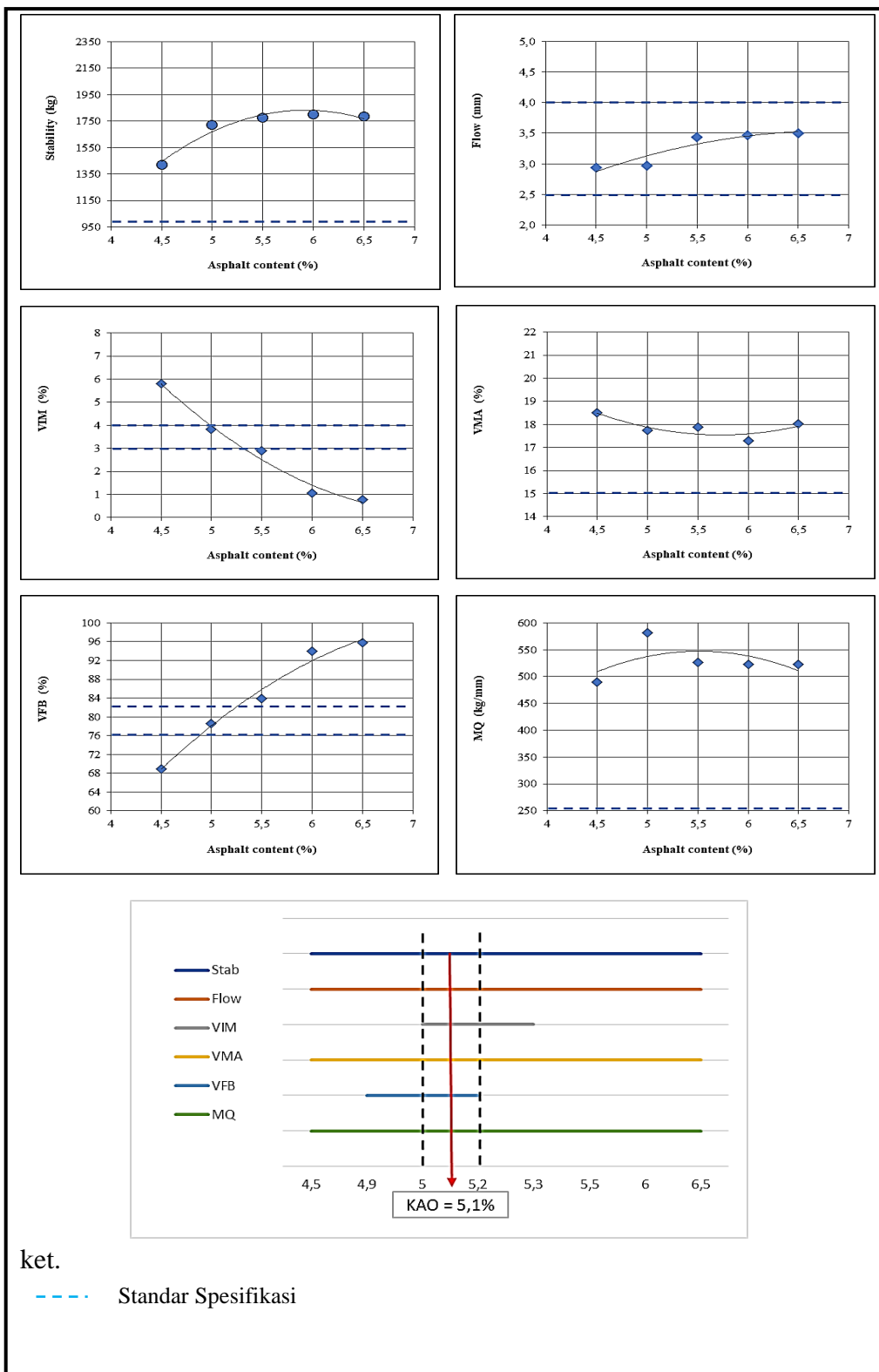
Hasil perhitungan karakteristik dari berbagai macam kadar aspal tersebut selanjutnya digunakan untuk mencari nilai kadar aspal optimum. Hasil pengujian karakteristik untuk Gradasi FAA selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.1.2. berikut hasil rata-rata dari ke 3 benda uji ditunjukkan dalam Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil Pengujian Karakteristik Campuran untuk Gradasi FAA

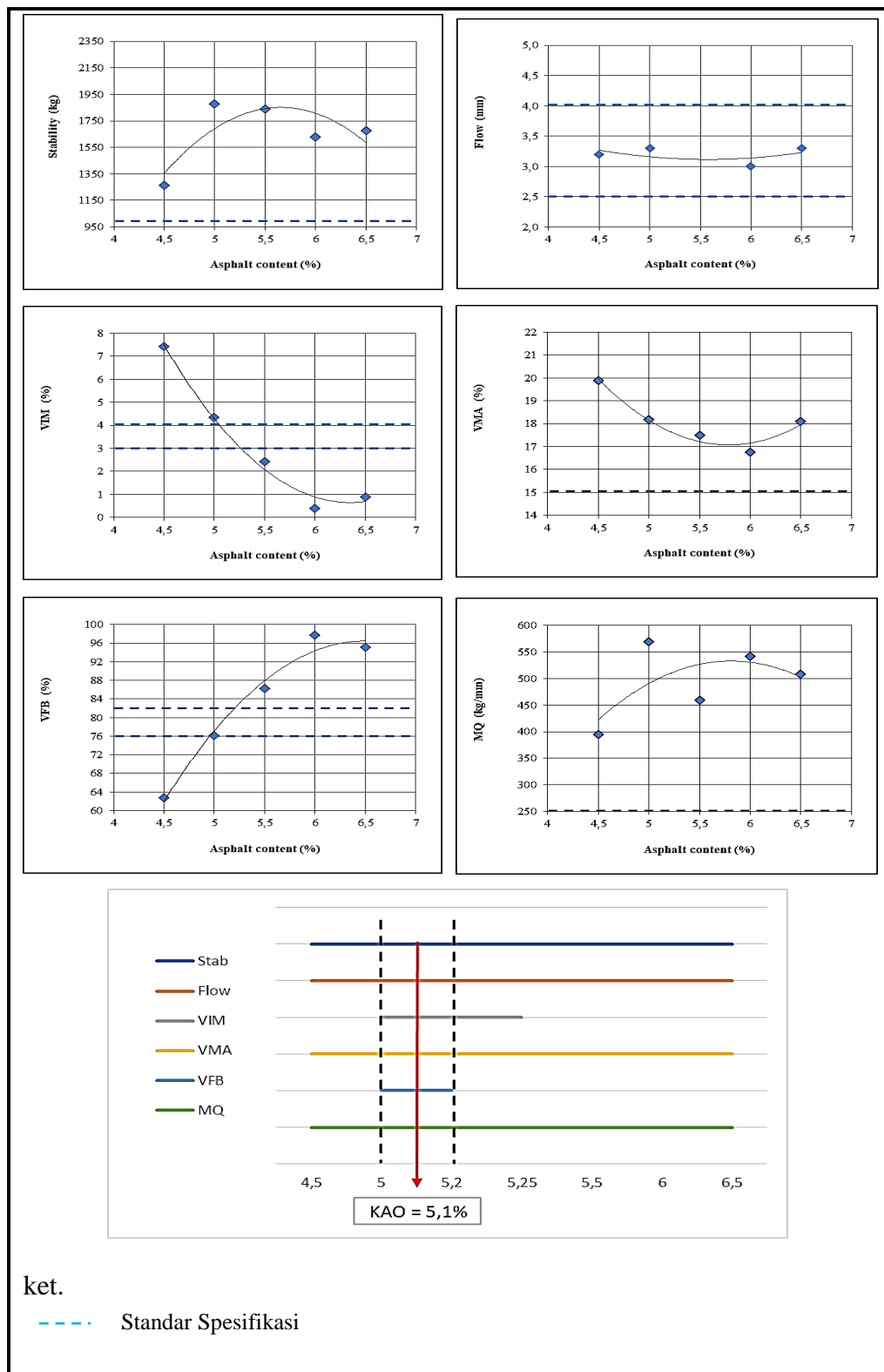
Karakteristik Campuran	Gradasi Rapat (FAA)					Spesifikasi
	Kadar Aspal (%)					
	4.5	5	5.5	6	6.5	
Stabilitas (kg)	1420.83	1723.44	1778.47	1803.13	1785.16	≥ 2150 lbs (971kg)
Flow (mm)	2.93	2.97	3.43	3.47	3.50	2.5-4
VIM (%)	5.80	3.82	2.89	1.06	0.77	3-4
VMA (%)	18.50	17.74	17.89	17.30	18.01	≥ 15
VFB (%)	68.92	78.54	83.93	93.97	95.74	76-82
MQ (kg/mm)	490.10	581.60	526.11	522.08	522.25	≥ 250

Tabel 4.10 menunjukkan bahwa karakteristik campuran didapatkan dari rata-rata 3 benda uji dari nilai karakteristik campuran yang didapat, diketahui untuk nilai stabilitas, *flow*, VMA dan MQ pada setiap kadar aspal memenuhi spesifikasi. VIM dan VFB dari lima kadar aspal, empat kadar aspal tidak memenuhi spesifikasi. Selain disajikan dengan tabel, karakteristik campuran ditunjukkan dalam grafik hubungan kadar aspal dengan masing–masing sifat karakteristik campuran. Grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 4.3 untuk hasil rata-rata, Gambar 4.4 untuk sampel 1, Gambar 4.5 untuk sampel 2 dan Gambar 4.6 untuk sampel 3.

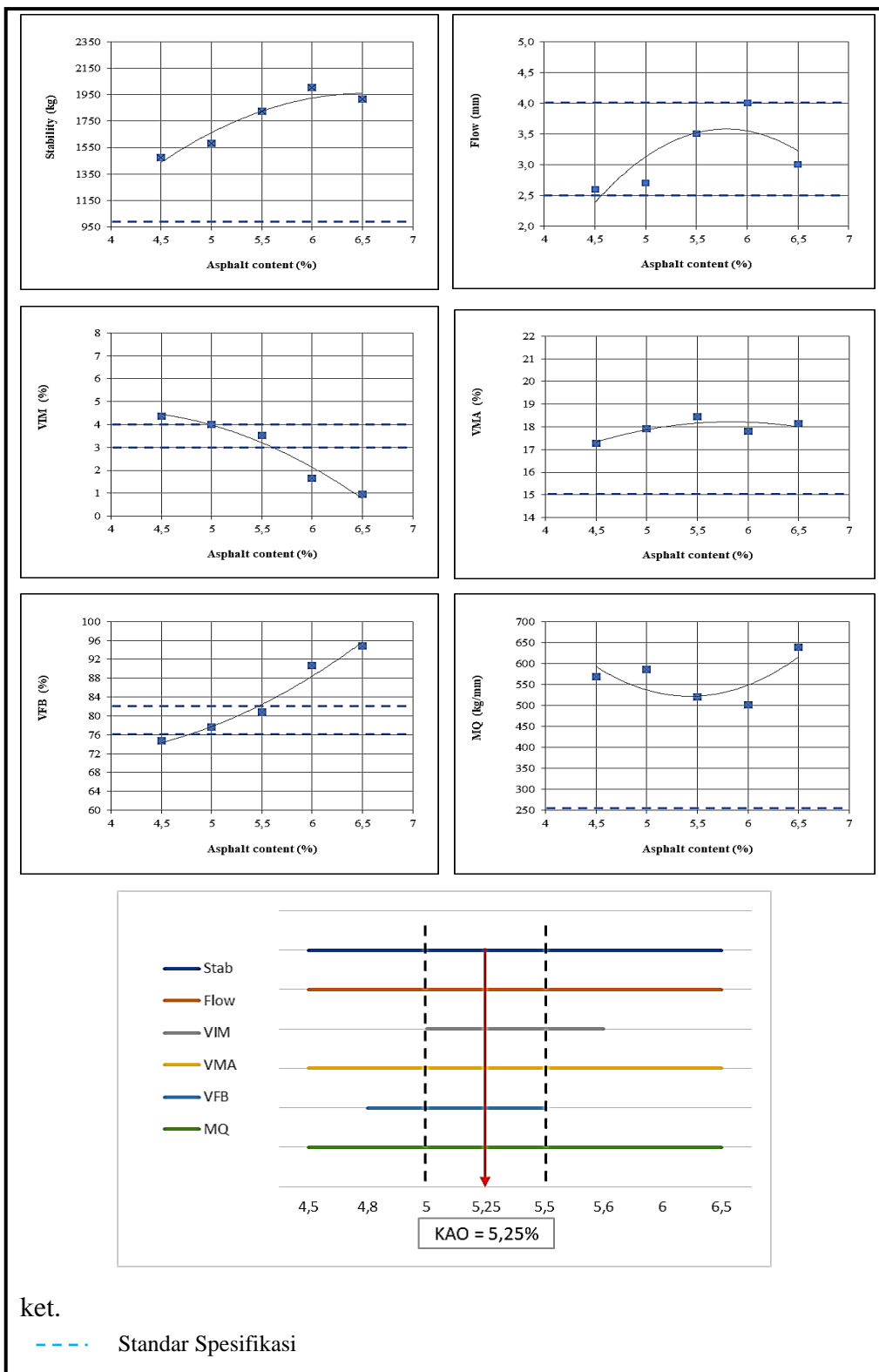




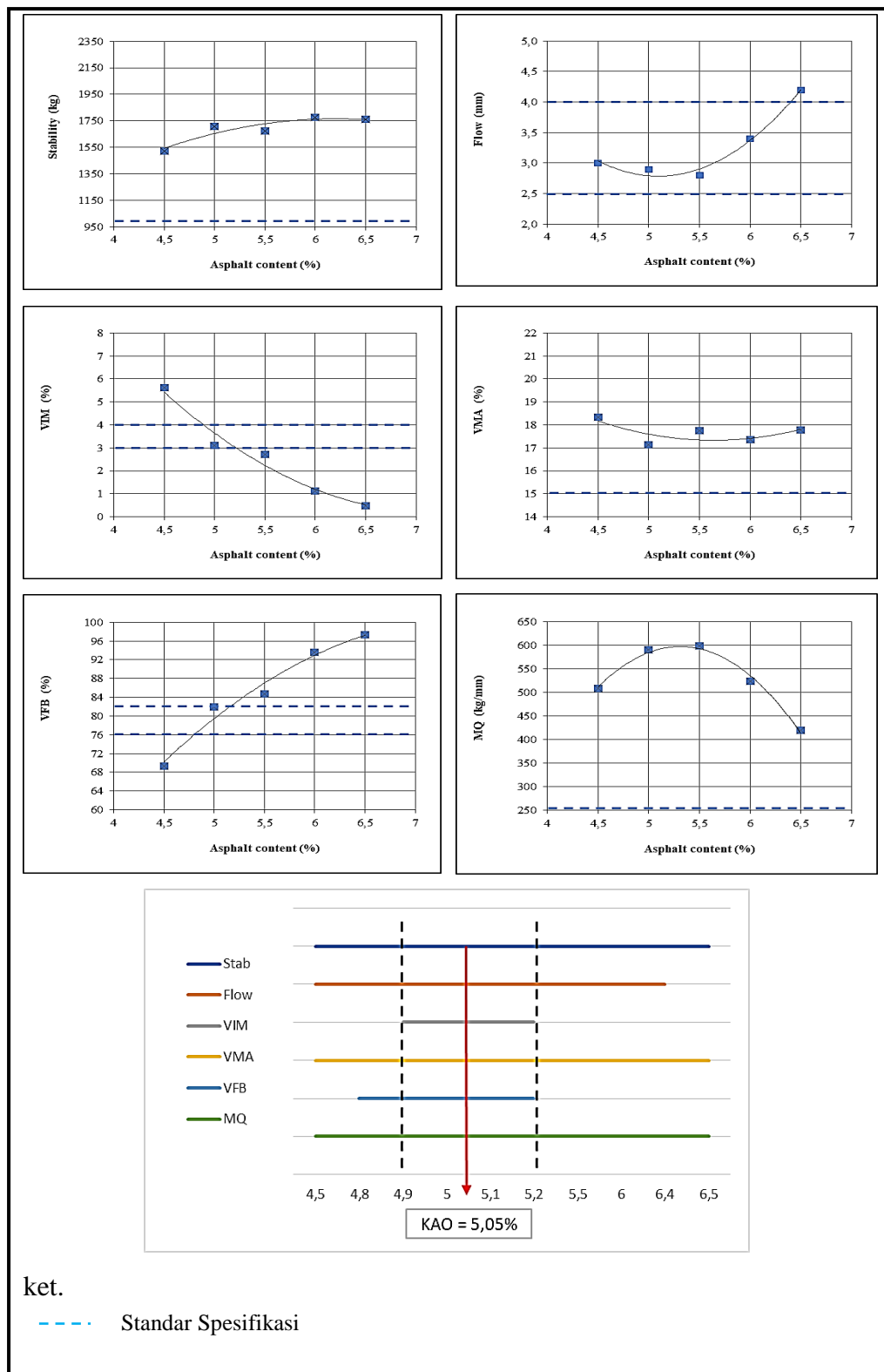
Gambar 4.3. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Gradasi FAA Rata-Rata



Gambar 4.4. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Gradasi FAA Sampel 1



Gambar 4.5. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Gradasi FAA Sampel 2



Gambar 4.6. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Gradasi FAA Sampel 3

Dari Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 yang digunakan untuk menentukan nilai KAO adalah Gambar 4.4 atau dari sampel 1. Pada Gambar 4.4 grafik tersebut memberikan hasil yang sudah sesuai dengan trend Asphalt Institute sehingga sudah bisa digunakan untuk menentukan KAO. Untuk hasil uji dari beberapa sample, ada hasil yang tidak memenuhi trend karakteristik *Marshall* pada Asphalt Institute. Hal ini dimungkinkan karena ada proses pembuatan sampel yang mungkin terganggu.

Hubungan stabilitas, flow, VMA, dan MQ seluruh sampel memiliki nilai yang memenuhi spesifikasi persyaratan dari FAA tahun 2014 dan Kemenhub tahun 2013. Pada nilai VIM, kadar aspal yang memenuhi standar spesifikasi adalah pada kadar aspal 5% - 5,25% dan untuk VFB kadar aspal 5% - 5,2% memenuhi nilai standar spesifikasi. Berdasarkan nilai kadar aspal kedua parameter uji ini didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk campuran aspal gradasi rapat spesifikasi FAA menggunakan metode barchart adalah sebesar 5.1%.

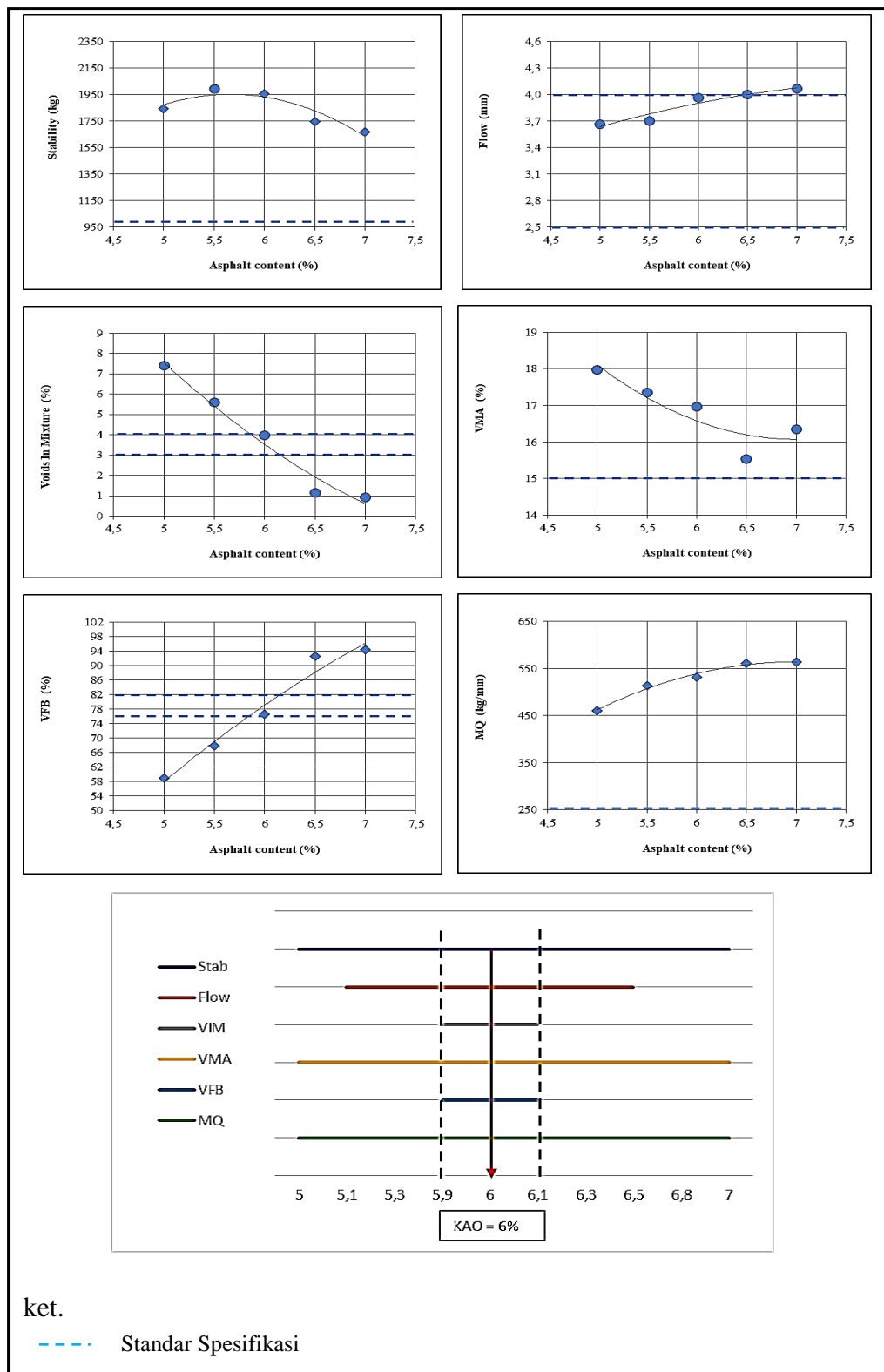
## 2. Penentuan KAO untuk gradasi BBA

Hasil perhitungan karakteristik dari berbagai macam kadar aspal tersebut selanjutnya digunakan untuk mencari nilai kadar aspal optimum. Hasil pengujian karakteristik untuk Gradasi BBA selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.1.1. Berikut hasil rata-rata dari ke 3 benda uji ditunjukkan dalam Tabel 4.11.

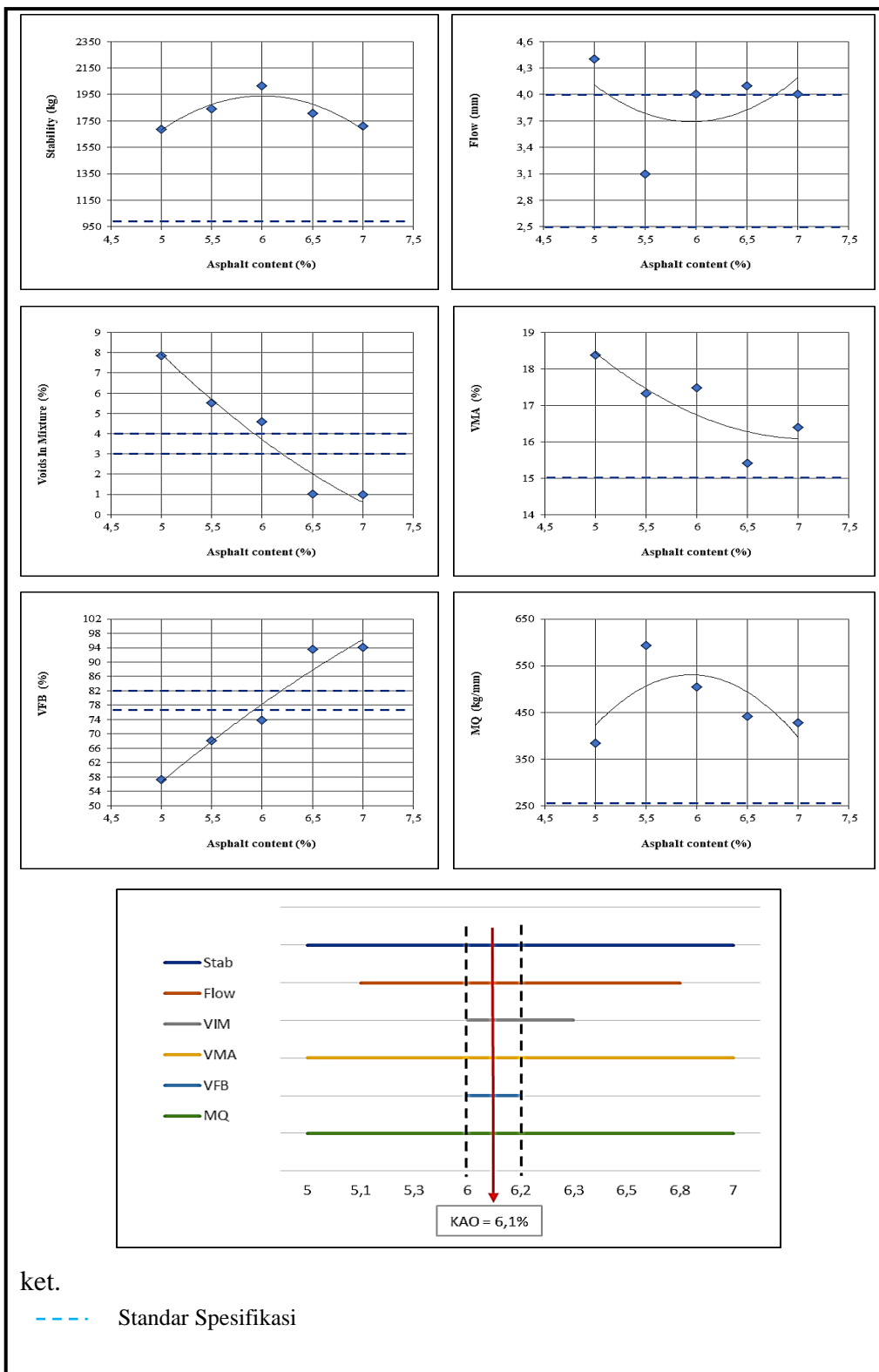
Tabel 4.11. Hasil Pengujian Karakteristik Campuran untuk Gradasi BBA

Karakteristik Campuran	Gradasi Terbuka (BBA)					Spesifikasi
	Kadar Aspal (%)					
	5	5.5	6	6.5	7	
Stabilitas (kg)	1846.18	1996.045	1957.795	1747.835	1671.016	≥ 2150 lbs (971kg)
Flow (mm)	3.67	3.70	3.97	4.00	4.07	2.5-4
VIM (%)	7.39	5.58	3.98	1.15	0.91	3-4
VMA (%)	17.97	17.36	16.96	15.53	16.34	≥ 15
VFB (%)	58.94	67.92	76.63	92.67	94.47	76-82
MQ (kg/mm)	516.85	543.70	493.24	436.84	410.58	≥ 250

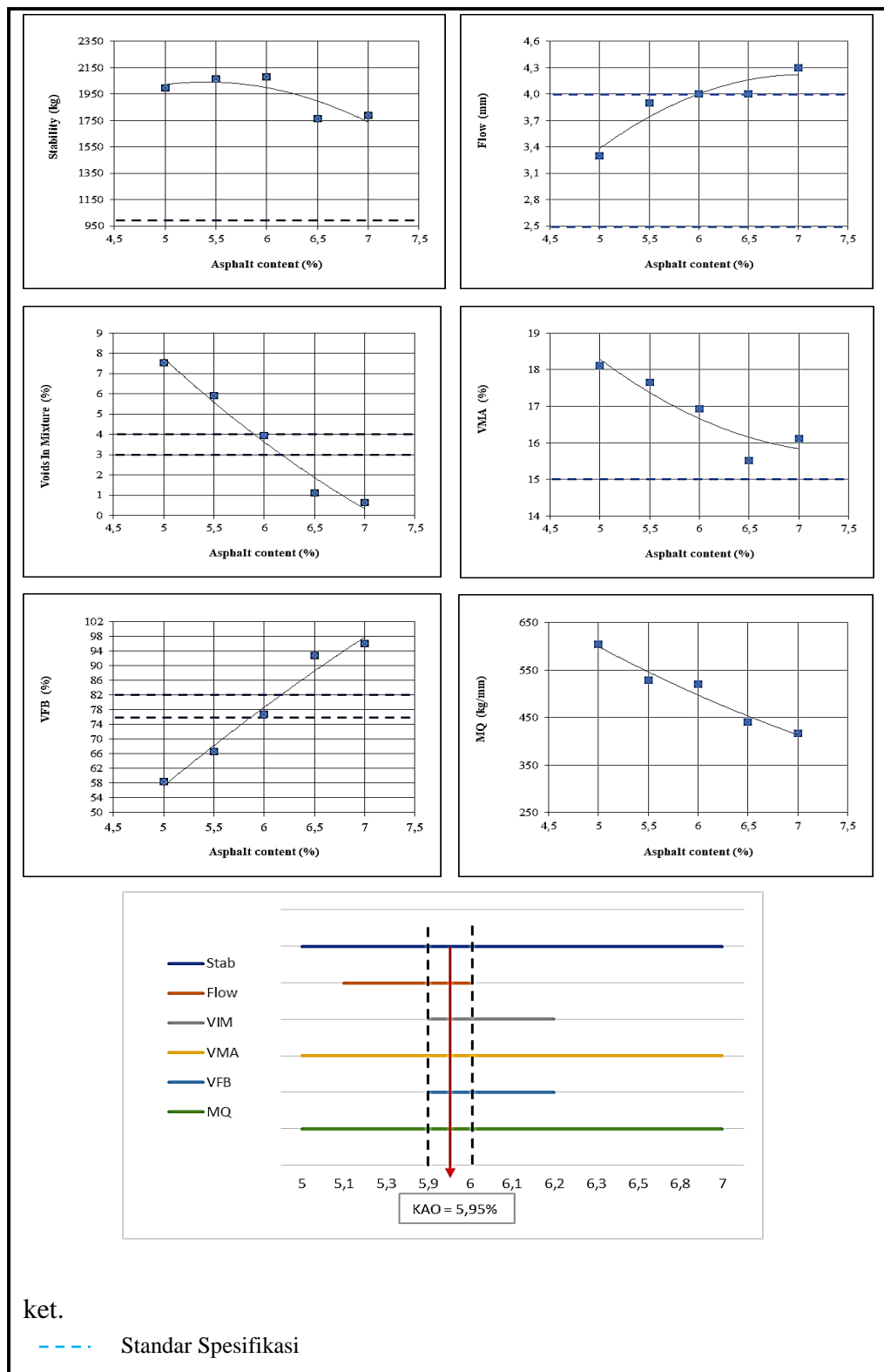
Selain disajikan dengan tabel, karakteristik campuran ditunjukkan dalam grafik hubungan kadar aspal dengan masing-masing sifat karakteristik campuran. Grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 4.7 untuk rata-rata, Gambar 4.8 untuk sampel 1, Gambar 4.9 untuk sampel 2 dan Gambar 4.10 untuk sampel 3.



Gambar 4.7. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Gradasi BBA Rata-Rata

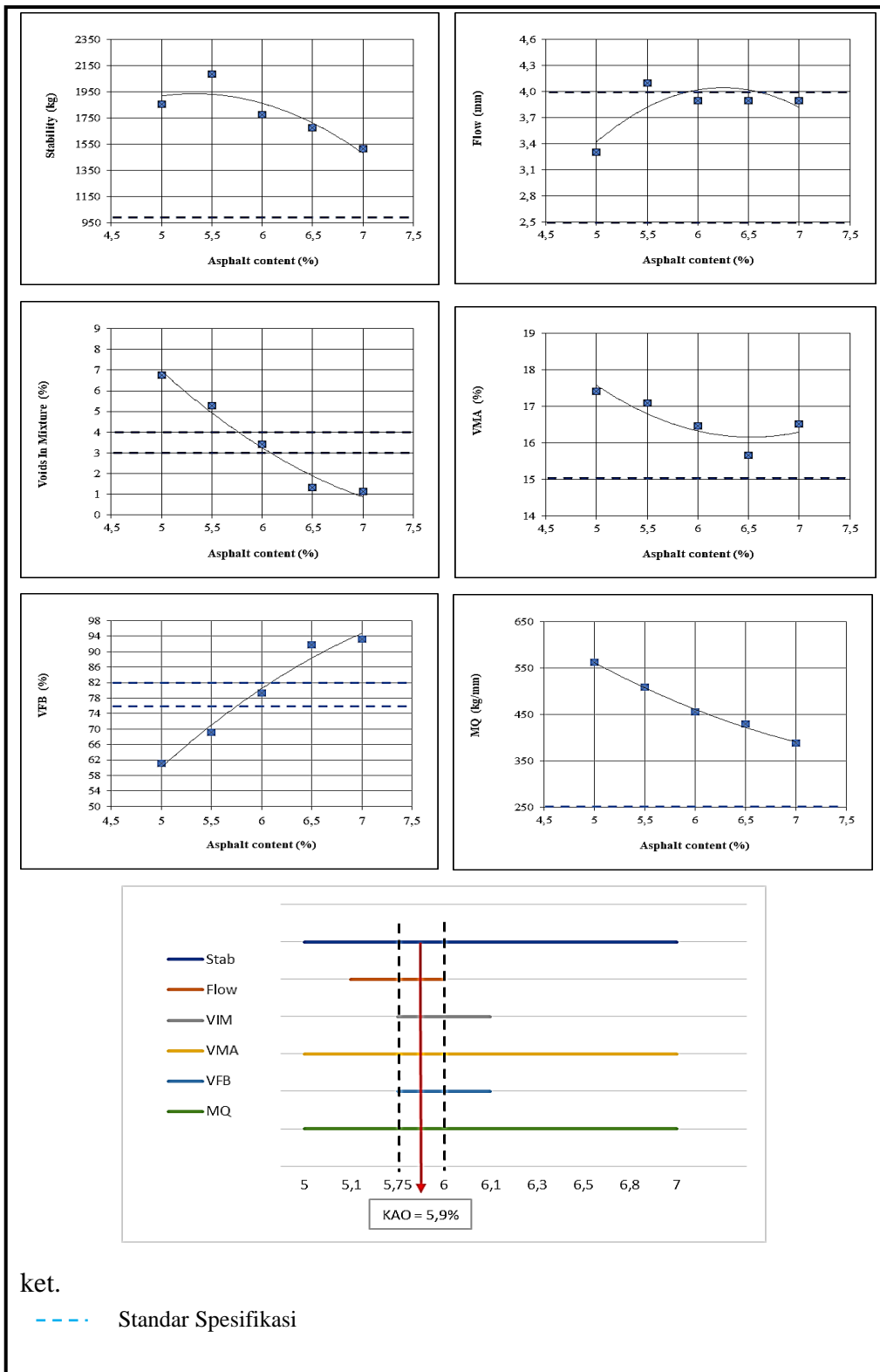


Gambar 4.8. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Gradasi BBA Sampel 1



Gambar 4.9. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Gradasi BBA Sampel 2





Gambar 4.10. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Gradasi BBA Sampel 3

Tabel 4.11 menunjukkan bahwa karakteristik campuran didapatkan dari rata-rata 3 benda uji dari nilai karakteristik campuran yang didapat, diketahui untuk nilai stabilitas, VMA dan MQ pada setiap kadar aspal memenuhi spesifikasi. VIM dan VFB dari lima kadar aspal, empat kadar aspal tidak memenuhi spesifikasi dan VMA dua dari lima kadar aspal tidak memenuhi spesifikasi serta *flow* satu dari lima kadar aspal tidak memenuhi.

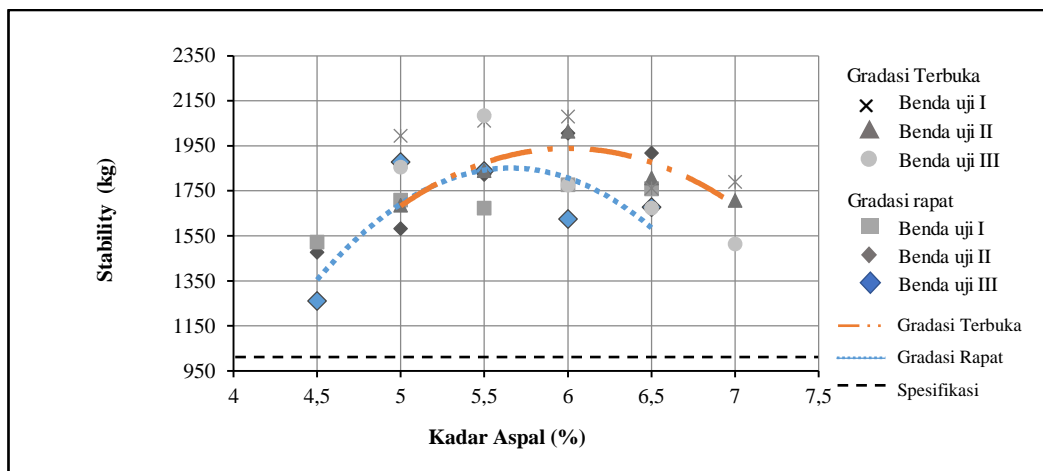
Dari Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 yang digunakan untuk menentukan nilai KAO adalah Gambar 4.8 atau dari sampel 1 karena, dapat dilihat bahwa pada grafik tersebut sudah sesuai dengan trend Asphalt Institute sehingga sudah bisa digunakan untuk menentukan KAO. Hubungan stabilitas, VMA dan MQ dengan kadar aspal memiliki nilai yang memenuhi spesifikasi persyaratan dari FAA tahun 2014 dan Kemenhub 2013 pada tiap sampelnya, untuk nilai kelelahan (*flow*) yang sesuai standar spesifikasi pada kadar aspal 5,1% - 6,8%, untuk nilai VIM pada kadar aspal 6% - 6,3%, dan untuk VFB pada kadar aspal 6% - 6,2%. Sehingga didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk campuran aspal gradasi terbuka sesuai spesifikasi BBA menggunakan metode barchart adalah sebesar 6.1%. Kadar aspal 6,1% inilah yang akan digunakan untuk pengujian berikutnya yaitu uji ketahanan deformasi (*Creep*).

#### **4.4 Analisis Data Pengujian *Marshall***

Analisis nilai empiris *Marshall* ditunjukkan dengan nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) yang merupakan besaran yang diukur langsung dari pengujian pada saat benda uji dibebani dengan alat uji *Marshall*. Sedangkan nilai volumetrik campuran yang dilakukan meliputi rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFB) yang merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap sifat campuran beraspal dan sangat menentukan dalam penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO). Jenis campuran aspal yang berbeda memberikan nilai yang berbeda pula. Analisis terhadap nilai empiris pengujian dan karakteristik volumetrik campuran adalah sebagai berikut.

#### 4.4.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas campuran dalam pengujian *Marshall* ditujukan dengan pembacaan nilai stabilitas yang dikoreksi dengan angka tebal benda uji. Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang, alur, dan *bleeding* (Asphalt Institute, 1989). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, gesekan antar butiran agregat (*internal friction*), penguncian antar butir agregat (*interlocking*) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal (kohesi), disamping itu proses pemadatan dan mutu agregat juga berpengaruh, serta partikel agregat yang lebih berbentuk angular dengan permukaan lebih kasar akan meningkatkan stabilitas campuran. Nilai stabilitas untuk kedua jenis gradasi setelah dilakukan pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



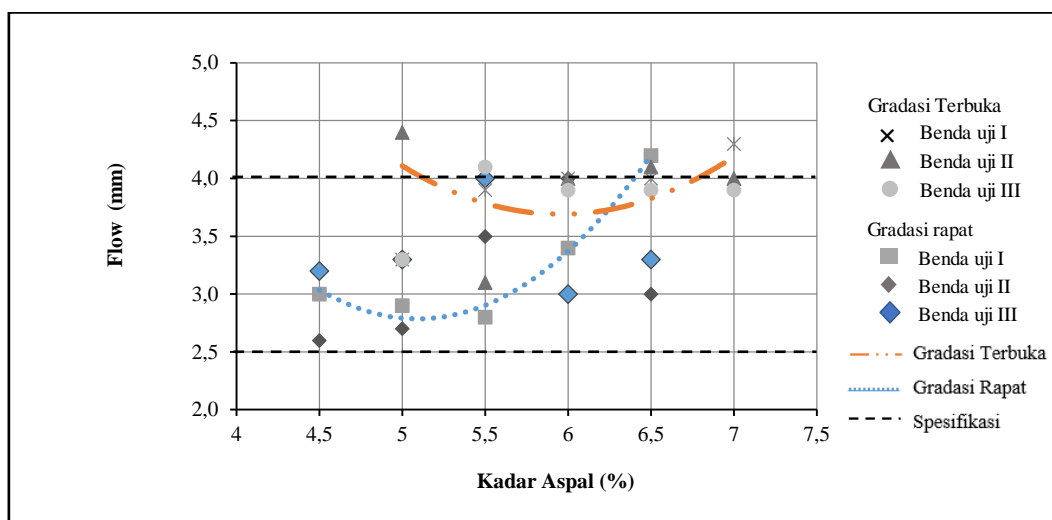
Gambar 4.11 Hubungan Stabilitas vs Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 4.11 secara keseluruhan stabilitas mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar aspal hingga batas tertentu namun juga apabila penambahan kadar aspal melebihi batas justru akan menurunkan nilai stabilitas yang diakibatkan oleh terlalu tebal nya film aspal yang menyelimuti agregat. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa campuran gradasi terbuka oleh BBA memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi daripada campuran gradasi rapat oleh FAA. Ini disebabkan karena gradasi maupun butiran agregat yang digunakan pada campuran gradasi terbuka memiliki nilai fraksi kasar yang lebih besar. Walaupun memiliki nilai stabilitas yang berbeda, kedua jenis gradasi tersebut memiliki nilai stabilitas yang memenuhi standar spesifikasi yang

disyaratkan sesuai dengan standar Spesifikasi *Federal Aviation Administration* (FAA) yaitu minimal 2150 lbs atau 971 kg.

#### 4.4.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah fungsi dari kekakuan aspal pengikat dan kadar aspal campuran. Kelelehan merupakan parameter empiris yang menjadi indikator terhadap kelenturan atau perubahan bentuk plastis campuran beraspal yang diakibatkan oleh beban. Campuran yang memiliki nilai kelelehan yang rendah dan stabilitas yang tinggi, cenderung menjadi kaku, getas (*brittle*), dan rentan terhadap retak, sedangkan campuran yang memiliki nilai kelelehan yang tinggi dengan stabilitas yang rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapatkan beban lalu lintas yaitu memiliki potensi untuk mengalami deformasi permanen pada saat terjadi pembebanan. Nilai kelelehan dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal dan proses pemadatan. Berdasarkan pengujian didapatkan hubungan kadar aspal dengan kelelehan yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



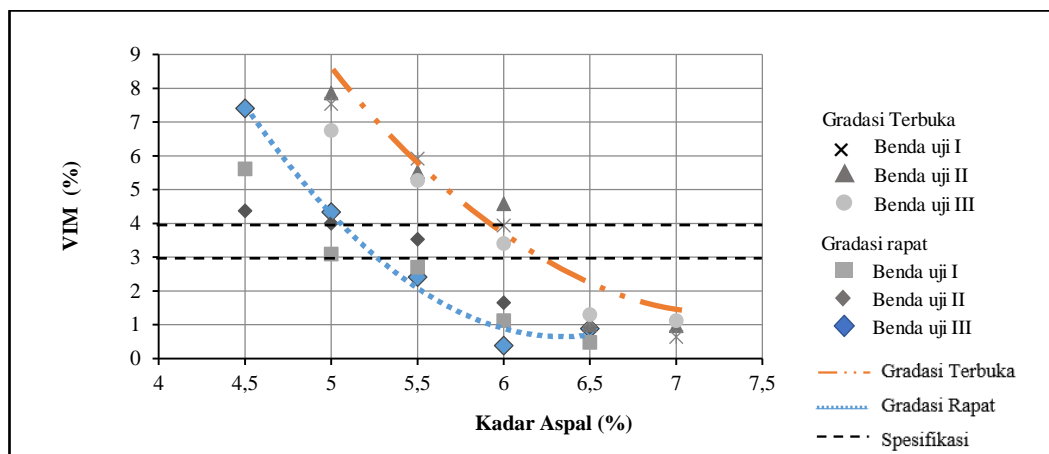
Gambar 4.12 Hubungan Flow vs Kadar Aspal

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa pada campuran dengan gradasi rapat maupun terbuka memiliki nilai yang memenuhi syarat dalam spesifikasi FAA. Berdasarkan hubungan kelelehan dengan kadar aspal menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar aspal maka nilai kelelehan juga meningkat, hal ini disebabkan dengan bertambahnya kadar aspal, campuran menjadi semakin plastis. Sesuai sifat aspal sebagai bahan pengikat, maka semakin banyak aspal menyelimuti batuan semakin baik ikatan antara agregat dengan aspal yang menyebabkan nilai kelelehan

menjadi tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 nilai kelelahan yang dimiliki campuran gradasi terbuka oleh BBA lebih tinggi dibandingkan dengan campuran gradasi rapat FAA, hal ini berkaitan dengan hubungan stabilitas dan kelelahan dimana semakin besar stabilitas maka semakin besar pula kelelehannya, dan begitu juga sebaliknya. Jadi semakin besar stabilitas dan kelelehan nya maka aspal akan semakin mampu menahan beban.

#### 4.4.3 Target Air Voids (VIM)

Target air voids atau VIM (*Voids in Mixture*) adalah banyaknya rongga dalam campuran yang dinyatakan dalam persentase. Nilai VIM berpengaruh terhadap durabilitas dari campuran serta diperlukan agar memberikan cukup ruang untuk pemadatan akibat beban lalu lintas dan juga pengaruh peningkatan temperatur. Nilai VIM dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal dan kepadatan. Hubungan kadar aspal dan VIM ditunjukkan pada Gambar 4.13.



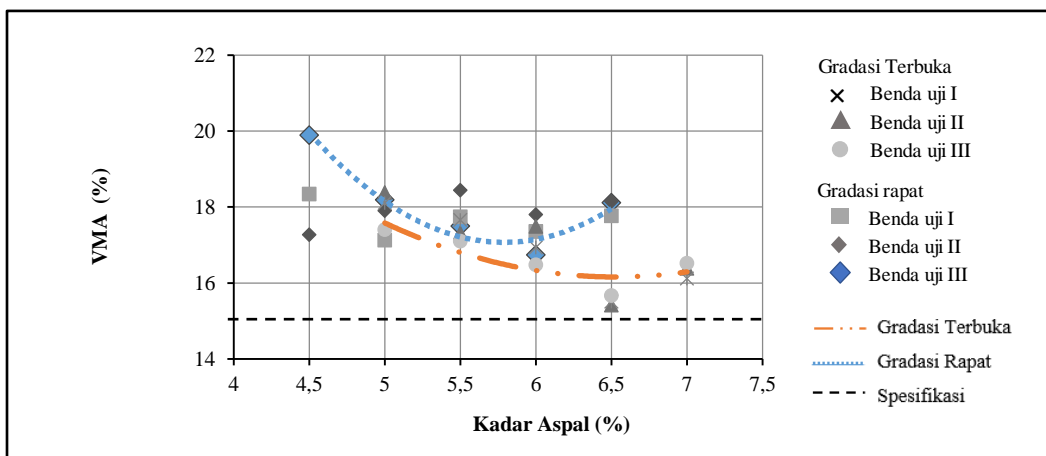
Gambar 4.13 Hubungan VIM vs Kadar Aspa

Dari Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya kadar aspal, maka nilai VIM menjadi semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar aspal, maka aspal tersebut akan mengisi rongga-rongga yang tersisa sehingga jumlah rongga semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Jika nilai VIM terlalu tinggi mengindikasikan campuran tersebut bersifat porous yang akan mengakibatkan berkurangnya keawetan dari lapis perkerasan karena rongga yang terlalu besar akan memudahkan masuknya air dan udara kedalam lapis perkerasan, jika hal ini terjadi akan menimbulkan

pelepasan butiran (*raveling*). Selain itu, udara akan mengoksidasi aspal sehingga selimut aspal menjadi tipis dan kohesi aspal menjadi berkurang sehingga menyebabkan keretakan pada perkerasan. Sedangkan air akan melarutkan bagian aspal yang tidak teroksidasi sehingga pengurangan jumlah aspal akan lebih cepat. Sebaliknya, nilai VIM yang kecil menunjukkan kekuatan terhadap pengelupasan, namun nilai minimum VIM harus dibatasi karena VIM yang terlalu kecil memiliki potensi terjadinya *bleeding* dan campuran rentan terhadap alur plastis (*rutting*). Hal ini disebabkan tidak tersedianya ruang yang cukup untuk menampung ekspansi aspal akibat pemadatan lanjutan oleh lalu lintas dan peningkatan temperatur. Untuk itu diperlukan nilai standar dimana berdasarkan spesifikasi FAA adalah sebesar 3,5%.

#### 4.4.4 Rongga Dalam Campuran (*Voids in Mineral Aggregate*)

VMA (*Voids in Mineral Aggregate*) adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran perkerasan yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal atau dapat dikatakan sebagai jumlah volume udara dan volume aspal efektif dengan tidak memperhitungkan volume aspal yang terserap oleh agregat. VMA digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga yang diperlukan dalam campuran perkerasan, besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi campuran, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Hubungan VMA dengan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hubungan VMA vs Kadar Aspal

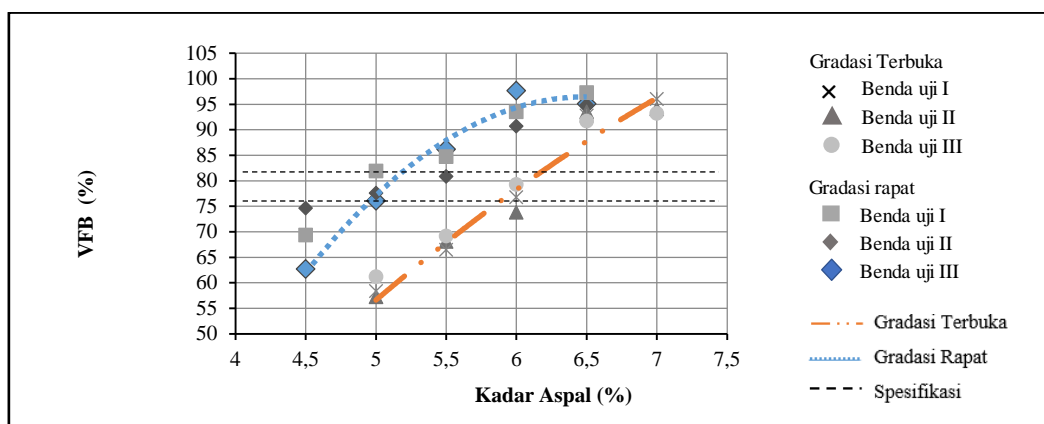
Dari gambar 4.14 menunjukkan dimana semakin besar nilai kepadatan maka semakin kecil nilai VMA karena semakin padat suatu campuran maka rongga akan semakin kecil. Nilai VMA yang mendekati nilai minimum menunjukkan bahwa campuran lebih memiliki keawetan, sedangkan nilai VMA yang tinggi akan mengakibatkan campuran memiliki deformasi yang terlalu besar. Namun pada prinsipnya, dengan semakin meningkatnya kadar aspal, maka nilai VMA akan cenderung mengalami penurunan hingga mencapai titik minimum dan akan meningkat kembali sesuai penambahan kadar aspal yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena aspal akan memenuhi rongga antar agregat tersebut hingga rongga sudah tidak dapat diisi oleh aspal, dalam hal ini nilai VMA menjadi minimum. Dari hasil diatas nilai VMA sudah sesuai dengan spesifikasi FAA persyaratan nilai VMA adalah  $\geq 15\%$ .

#### **4.4.5 Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled Bitumen*)**

VFB adalah nilai yang menunjukkan banyaknya rongga yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang terserap ke dalam agregat. Nilai ini berpengaruh terhadap kekedapan campuran terhadap air dan udara, serta elastisitas campuran. Nilai VFB dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu pemadatan, kadar aspal, dan gradasi agregatnya. Nilai VFB yang besar mengindikasikan banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara serta elastisitas akan semakin tinggi. Nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami *bleeding* atau naiknya aspal ke permukaan. Sedangkan Nilai VFB yang terlalu kecil akan menyebabkan kekedapan campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan masuk kedalam lapis perkerasan sehingga keawetan dari lapis perkerasan akan berkurang. Hubungan antara VFB dan kadar aspal menunjukkan kecenderungan bahwa nilai VFB akan bertambah seiring meningkatnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena rongga dalam campuran akan terisi oleh aspal bila kadar aspal ditingkatkan. Hubungan VFB dengan kadar aspal ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Dari Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa campuran mempunyai nilai VFB yang meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, hal ini disebabkan rongga dalam

campuran mengecil karena bertambahnya kadar aspal yang meresap dan menyelimuti butiran agregat. Nilai VFB menunjukkan perbandingan jumlah kandungan aspal dan jumlah kandungan rongga didalam campuran. Nilai VFB yang rendah berarti jumlah aspal efektif yang mengisi rongga-rongga antar butir agregat sedikit, berarti rongga udaranya besar. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran. Sebaliknya nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan bleeding karena rongga antar butiran terlalu kecil. Dalam penelitian ini, persyaratan yang digunakan adalah standar spesifikasi FAA yaitu nilai VFB sebesar 76%-82%.



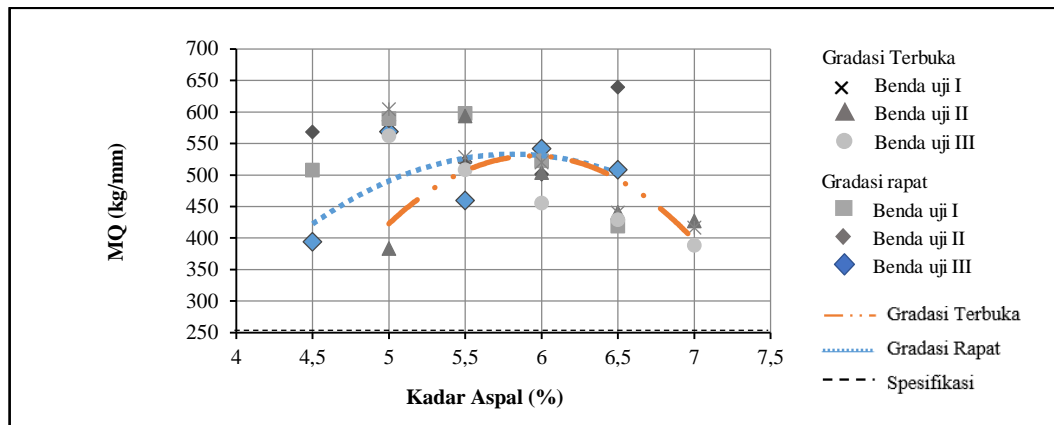
Gambar 4.15 Hubungan Antara VFB (%) dengan Kadar Aspal (%)

#### 4.4.6 Marshall Quotient (MQ)

Nilai *Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient (MQ)* berarti campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil *Marshall Quotient (MQ)* maka perkerasannya semakin lentur. Hubungan dari MQ dengan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.16.

Dari Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa campuran memenuhi syarat spesifikasi yaitu nilai *MQ* minimal 250 kg/mm. Campuran yang memiliki nilai *MQ* yang rendah, menunjukkan campuran akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas. Sedangkan campuran yang memiliki nilai *MQ* tinggi cenderung bersifat kaku dan kurang lentur.

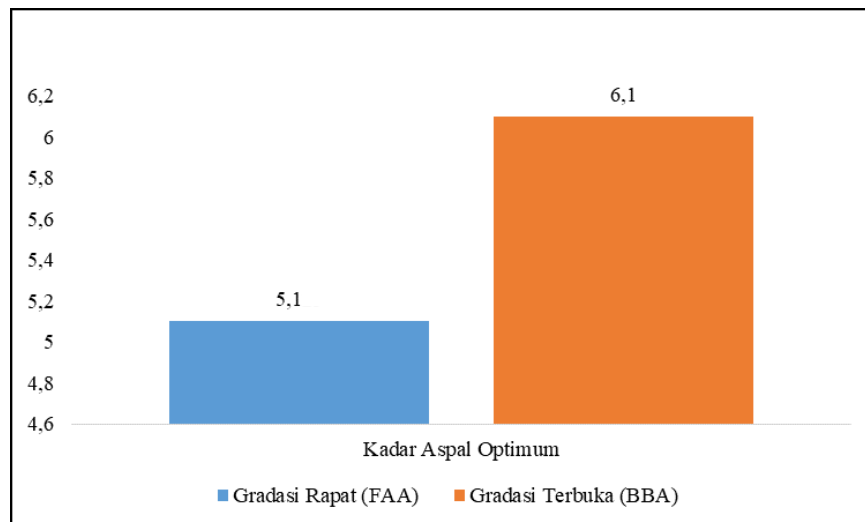




Gambar 4.16 Hubungan Antara  $MQ$  (kg/mm) dengan Kadar Aspal (%)

#### 4.4.7 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum merupakan kadar aspal yang menghasilkan campuran yang memenuhi semua unsur dari parameter *Marshall*. Perbandingan Kadar Aspal Optimum antar campuran dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Perbandingan nilai KAO setiap campuran

Berdasarkan Gambar 4.17 terlihat bahwa KAO pada campuran gradasi BBA lebih tinggi dari campuran aspal gradasi FAA. Hal ini disebabkan karena butir agregat pada gradasi FAA lebih bervariasi sehingga campuran menghasilkan rongga yang lebih sedikit. Nilai rongga yang kecil menyebabkan kadar aspal yang dibutuhkan juga lebih sedikit karena agregat telah saling mengisi. Sedangkan pada gradasi BBA, campuran memiliki nilai kadar aspal optimum yang lebih tinggi

karena dominasi butir agregat kasar membuat nilai rongga yang besar sehingga dibutuhkan lebih banyak kadar aspal untuk menghasilkan campuran dengan kekuatan yang optimum.

#### 4.4.8 Pengujian Perendaman *Marshall* (*Immersion Test*)

Pengujian perendaman adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap kerusakan oleh air atau yang disebut Indeks Kekuatan *Marshall* Sisa (IRS) atau *Marshall Index of Retained Strength*. Pada pengujian ini akan didapatkan nilai indeks perendaman yang dinyatakan dalam persen (%). Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 telah menetapkan batas minimal untuk indeks perendaman campuran AC-WC adalah minimal 90% dari nilai stabilitas *Marshall*. Data hasil bacaan penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Data Bacaan Hasil Pengujian Perendaman

Data <i>Marshall</i>	Gradasi Rapat (FAA)						Gradasi Terbuka (BBA)					
	KAO (5.10%)						KAO (6.1%)					
	30 menit			24 jam			30 menit			24 jam		
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
H (mm)	68.0	68.8	68.9	68.5	67.0	68.6	65.4	65.4	65.7	65.3	65.7	65.6
Stabilitas (lbs)	750	660	680	670	650	665	670	640	650	640	585	600
<i>Flow</i> (mm)	4.0	3.0	3.8	3.5	2.6	2.8	3.9	3.5	3.5	3.1	2.5	3

Prosedur pengujian perendaman pengerjaannya sama dengan *Marshall test*, namun sampel yang digunakan hanya pada nilai kadar aspal optimum. Variasi lama perendaman adalah 30 menit dan 24 jam pada suhu  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ . Hasil perhitungan nilai indeks perendaman untuk campuran bisa dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Perendaman

Sifat-Sifat Campuran	Hasil Pengujian	
	Gradasi Rapat (FAA)	Gradasi Terbuka (BBA)
Kadar aspal; %	5.10	6.10
Stabilitas perendaman standar (S1); Kg	2039	2055.91
Stabilitas perendaman 24 jam (S2); Kg	1962.11	1913,25
IKS (S2/S1); %	96,22 %	93.06 %

Dari hasil perhitungan yang terdapat pada Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai stabilitas standar setelah perendaman. Indeks Kekuatan Sisa tersebut lebih besar dari 90%, sehingga nilai IKS untuk campuran gradasi FAA dan BBA memenuhi standar spesifikasi yang disyaratkan.

Pengaruh perendaman (*Immersion Test*) dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan atau durabilitas campuran terhadap pengaruh air yang ditandai dengan hilangnya ikatan antara aspal dan butiran agregat. Nilai ini dipengaruhi oleh tingkat kelekatan agregat dengan aspal yang antara lain bergantung pada bentuk dan jumlah pori agregat, kadar aspal, kepadatan, kandungan rongga dan gradasi agregat. Parameter pengukurannya dinyatakan dengan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS). Nilai IKS campuran didapat dari hasil perbandingan nilai stabilitas benda uji hasil rendaman 24 jam dengan nilai stabilitas benda uji standar pada hasil rendaman 30 menit. Pada Tabel 4.13 terlihat bahwa nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada campuran pada gradasi FAA lebih tinggi dibandingkan gradasi BBA. Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan menggunakan gradasi rapat (FAA) mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap pengaruh air dibandingkan dengan campuran yang menggunakan gradasi terbuka (BBA). Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh gradasi agregat yang menyebabkan rongga dalam campuran pada gradasi terbuka lebih besar sehingga membuat kekuatan campuran lebih rendah pada ketahanan campuran terhadap air (durabilitas).

#### **4.5 Pembuatan Sampel dan Pengujian Creep**

Setelah menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO), selanjutnya akan dilakukan uji *Creep* untuk menentukan nilai ketahanan terhadap deformasi pada perkerasan *runway* bandara. Dalam hal ini campuran dibuat dalam satu jenis gradasi yaitu gradasi terbuka berdasarkan spesifikasi BBA, karena keterbatasan biaya maka pengujian *Creep* untuk gradasi rapat berdasarkan spesifikasi FAA tidak dilakukan. Pembuatan campuran aspal beton dilakukan di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Jalan Departemen Teknik Sipil ITS, Surabaya. Sedangkan pengujian *Creep* dilakukan di Laboratorium Bahan Jalan Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali.

Pengujian ini dilakukan dengan 3 (tiga) model variasi pembebanan, variasi I dengan menggunakan beban standar sesuai dengan BS EN 12697–25:2005 yaitu 100 kPa, variasi II beban ditingkatkan menjadi 400 kPa dan variasi III beban ditingkatkan lagi menjadi 500 kPa. Jumlah benda uji dari masing-masing variasi beban sebanyak 3 benda uji dengan total benda uji sebanyak 9 benda uji untuk pengujian ini.

#### 4.5.1 Penentuan Nilai Ketahanan Deformasi

##### 1. Variasi I (diberikan beban = 100 kPa)

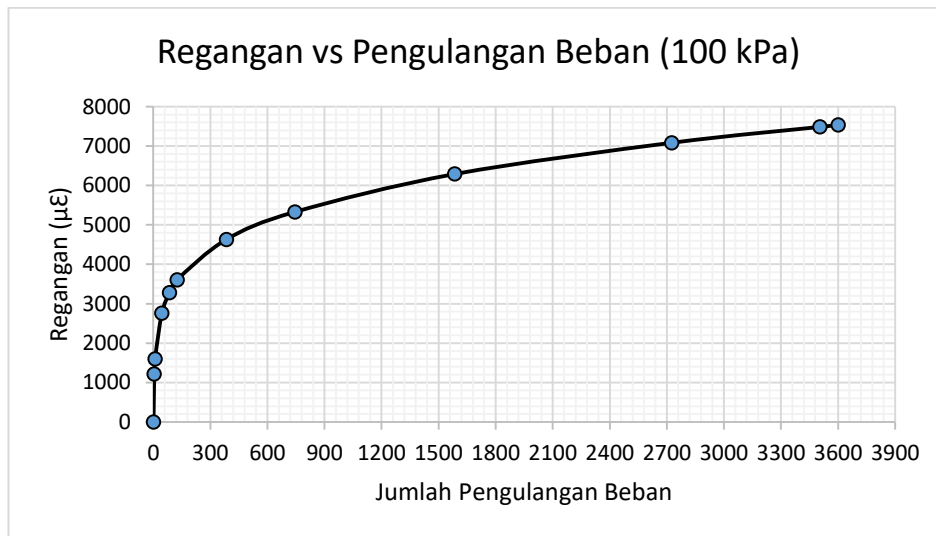
Pengujian dilakukan pada variasi I dengan jumlah benda uji 3 buah dan diberikan beban sebesar 100 kPa pada temperatur pengujian 60 °C. Berikut hasil pengujian ketahanan deformasi Variasi I dari ke 3 sampel tersebut digunakan data yang paling konsisten dan homogen kemudian dirata-ratakan yang ditampilkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Hasil Pengujian Ketahanan Deformasi Variasi I

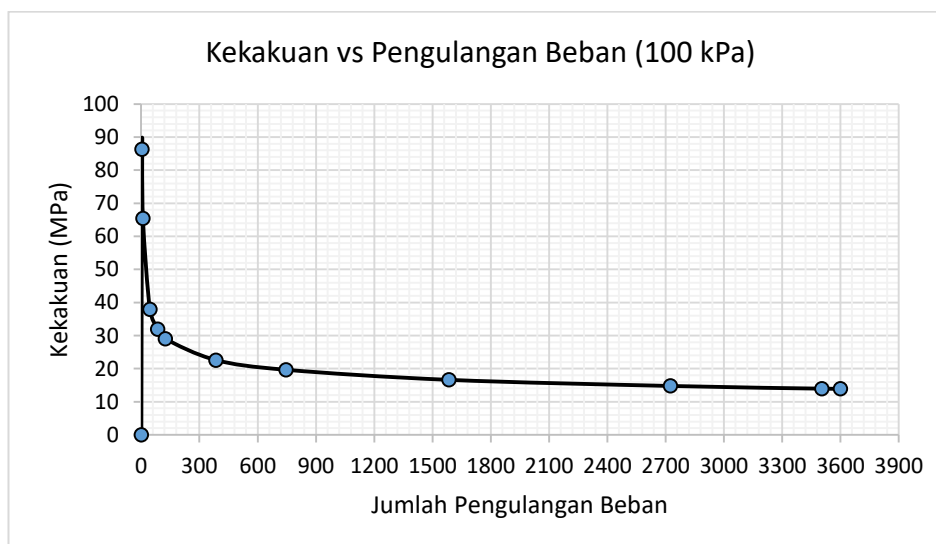
Cycle	Seating stress (kPa)	Cyclic stress (kPa)	Stress (kPa)	Total permanent strain (μΕ)	Stiffness (MPa)
a	b	c	d = (b+c)	e	$f = ((d/e)/10^3)*10^6$
1	4,6	58,15	62,75	0	0
5	4,6	100,1	104,7	1213,3095	86,29290383
9	4,65	100,2	104,85	1601,9325	65,45219602
45	4,65	99,95	104,6	2757,4365	37,93378379
85	4,6	100,15	104,75	3277,684	31,95854146
125	4,6	100,05	104,65	3607,136	29,01193634
385	4,6	100,1	104,7	4633,2925	22,59732145
745	4,5	100,35	104,85	5330,4535	19,66999618
1585	4,65	99,95	104,6	6291,136	16,62656792
2725	4,6	100,1	104,7	7084,123	14,77952881
3505	4,6	99,95	104,55	7486,5735	13,96500014
3600	4,5	100,35	104,85	7535,4705	13,91419421

Berdasarkan Tabel 4.14 sampel diuji dengan standar ketentuan dari BS EN 12697–25:2005 dan diketahui hasil total permanent *strain* (regangan) sebesar 7535,4705 μΕ dan nilai *stiffnes* (kekakuan) sebesar 13,914 MPa. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa dengan diberikan beban standar 100 kPa dan jumlah pengulangan beban sebesar 3600 kali, Variasi I belum mengalami deformasi.

Berikut gambar grafik hubungan antara regangan dan jumlah pengulangan beban serta gambar grafik hubungan antara kekakuan dan jumlah pengulangan beban ditampilkan pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.



Gambar 4.18 Pengulangan beban (100 kPa) vs Regangan



Gambar 4.19 Pengulangan beban (100 kPa) vs Kekakuan

Berdasarkan Gambar 4.18 semakin benda uji diberikan pengulangan beban maka benda uji mengalami *strain* (regangan) atau deformasi. Untuk nilai *strain* (regangan) atau deformasi diketahui dari output hasil pengujian *Creep* yang terdapat pada kolom (e) akhir yaitu sebesar 7535,4705 µε. Berdasarkan Gambar 4.19 semakin benda uji diberikan pengulangan beban maka benda uji menjadi tidak kaku. Akan tetapi pada Variasi I ini sampel belum terjadi deformasi dikarenakan

beban masih terlalu kecil. Untuk nilai *stiffnes* (kekakuan) dihitung menggunakan Persamaan 3.10, contoh perhitungan pada cycle 3600x sebagai berikut:

$$E_n = \frac{\sigma}{\epsilon_n}$$

Dik.  $\sigma$  (tekanan) dalam kolom (d) = 104,85 kPa

$\epsilon_n$  (regangan) dalam kolom (e) = 7535,4705  $\mu\epsilon$

Maka,  $E_n$  (kekakuan) =  $104,85 / 7535,4705 \times 10^6 = 13,914$  MPa

Jadi, nilai kekakuan pada cycle 3600x sebesar 13,914 MPa.

## 2. Variasi II (diberikan beban = 400 kPa)

Pengujian dilakukan pada variasi II dengan jumlah benda uji 3 buah dan diberikan beban sebesar 400 kPa pada temperatur pengujian 60 °C. Berikut hasil pengujian ketahanan deformasi Variasi II dari ke 3 sampel tersebut digunakan data yang paling konsisten dan homogen kemudian dirata-ratakan ditampilkan pada Tabel 4.15.

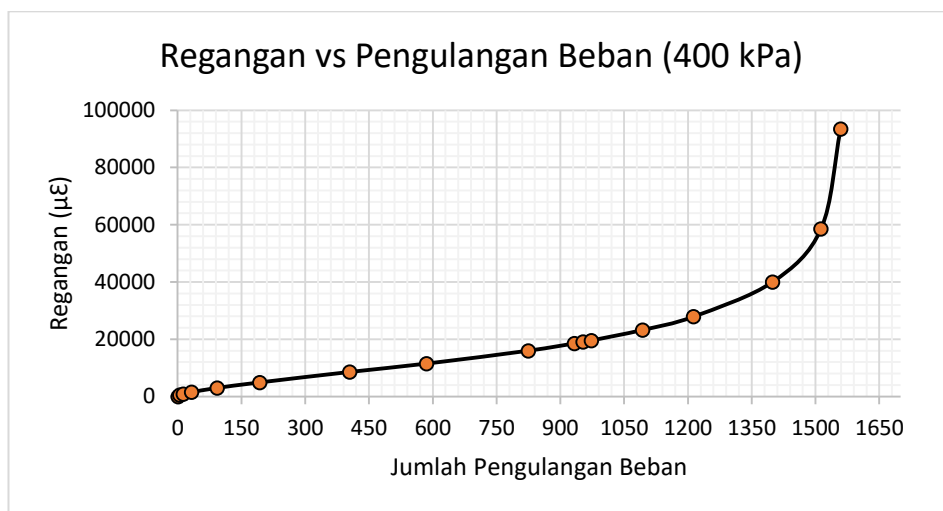
Tabel 4.15. Hasil Pengujian Ketahanan Deformasi Variasi II

Cycle	Seating stress (kPa)	Cyclic stress (kPa)	Stress (kPa)	Total permanent strain ( $\mu\epsilon$ )	Stiffness (MPa)
a	b	c	d = (b+c)	e	f = ((d/e)/10 <sup>3</sup> )*10 <sup>6</sup>
1	4,1	401,6	405,7	0	0
5	4,1	400,6	404,7	516,364	783,7494481
13	3,9	400,9	404,8	850,909	475,7265466
33	3,9	401	404,9	1520	266,3815789
93	3,9	400,9	404,8	3003,636	134,7699921
193	3,9	401	404,9	4923,636	82,23597358
405	3,9	401,1	405	8589,091	47,15283608
585	3,9	400,9	404,8	11490,909	35,22784838
825	4,1	400,6	404,7	16014,545	25,27077728
933	4,2	400,3	404,5	18545,455	21,81127398
953	4,2	400,9	405,1	19061,818	21,25190787
973	4,2	400,7	404,9	19585,455	20,6735049
1093	4,3	400,4	404,7	23236,364	17,41666639
1213	4,3	400,4	404,7	27898,182	14,50632159
1399	4,6	400,3	404,9	39992,727	10,12434086
1513	4,9	400	404,9	58567,273	6,913417328
1559	14,8	359,1	373,9	93520	3,998075278

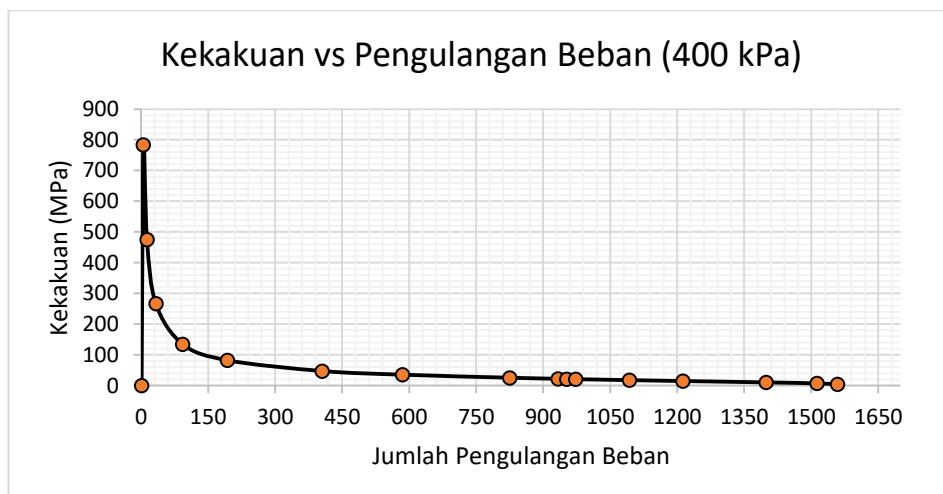
Berdasarkan Tabel 4.15 sampel diuji dengan standar ketentuan dari BS EN 12697–25:2005 dan diketahui hasil total permanent *strain* (regangan) sebesar 93520  $\mu\epsilon$  dan

nilai *stiffnes* (kekakuan) sebesar 3,998 MPa. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa dengan diberikan beban standar 400 kPa dan jumlah pengulangan beban sebesar 3600 kali, Variasi II sudah mengalami deformasi pada pengulangan beban 1559 kali.

Berikut gambar grafik hubungan antara regangan dan jumlah pengulangan beban serta gambar grafik hubungan antara kekakuan dan jumlah pengulangan beban ditampilkan pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21.



Gambar 4.20 Pengulangan beban (400 kPa) vs Regangan



Gambar 4.21 Pengulangan beban (400 kPa) vs Kekakuan

Berdasarkan Gambar 4.20 semakin benda uji diberikan pengulangan beban maka benda uji mengalami *strain* (regangan) atau deformasi. Untuk nilai *strain* (regangan) atau deformasi pada pemberian beban 400 kPa diketahui dari output hasil pengujian *Creep* yang terdapat pada kolom (e) akhir yaitu sebesar 93520  $\mu\epsilon$ . Berdasarkan Gambar 4.21 semakin benda uji diberikan pengulangan beban maka benda uji menjadi tidak kaku. Akan tetapi pada Variasi II ini sampel terjadi deformasi dikarenakan adanya penambahan beban.

Untuk nilai *stiffnes* (kekakuan) dihitung menggunakan Persamaan 3.10, contoh perhitungan pada cycle 1559x sebagai berikut:

$$E_n = \frac{\sigma}{\epsilon_n}$$

Dik.  $\sigma$  (tekanan) dalam kolom (d) = 373,9 kPa

$\epsilon_n$  (regangan) dalam kolom (e) = 93520  $\mu\epsilon$

Maka,  $E_n$  (kekakuan) =  $\frac{373,9}{93520} \times 10^6 = 3,998 \text{ MPa}$

Jadi, nilai kekakuan pada cycle 1559x sebesar 3,998 MPa.

### 3. Variasi III (diberikan beban = 500 kPa)

Pengujian dilakukan pada variasi III dengan jumlah benda uji 3 buah dan diberikan beban sebesar 500 kPa pada temperatur pengujian 60 °C. Berikut hasil pengujian ketahanan deformasi Variasi III dari ke 3 sampel tersebut digunakan data yang paling konsisten dan homogen kemudian dirata-ratakan ditampilkan pada Tabel 4.16.

Berdasarkan Tabel 4.16 sampel diuji dengan standar ketentuan dari BS EN 12697–25:2005 dan diketahui hasil total permanent *strain* (regangan) sebesar 98476,969  $\mu\epsilon$  dan nilai *stiffnes* (kekakuan) sebesar 4,8559 MPa. Dari hasil tersebut diketahui bahwa dengan diberikan peningkatan beban 500 kPa dan jumlah pengulangan beban sebesar 3600 kali, Variasi III mengalami deformasi pada pengulangan beban 480 kali.

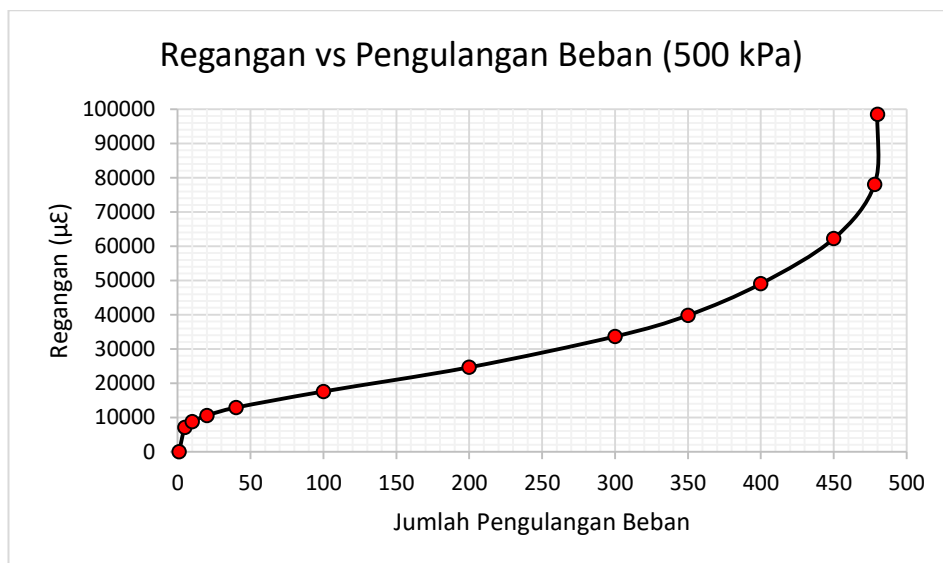


Tabel 4.16. Hasil Pengujian Ketahanan Deformasi Variasi III

Cycle	Seating stress (kPa)	Cyclic stress (kPa)	Stress (kPa)	Total permanent strain ( $\mu\epsilon$ )	Stiffness (MPa)
a	b	c	d = (b+c)	e	$f = ((d/e)/10^3)*10^6$
1	4,65	280,9	281,9	0	0
5	6,3	498,45	499,45	7072,2445	70,62114439
10	5,95	498,8	499,8	8722,9685	57,29700847
20	5,75	499,05	500,05	10563,3095	47,33838387
40	5,6	499,05	500,05	12868,348	38,8589118
100	5,6	499,15	500,15	17567,661	28,46992551
200	5,6	499,35	500,35	24627,667	20,31658135
300	5,9	498,95	499,95	33631,7875	14,86540078
350	6,05	498,55	499,55	39810,55	12,54818132
400	6,55	498,3	499,3	49038,3435	10,18182843
450	24,25	273,95	274,95	62211,679	4,419588161
478	15,85	246,15	247,15	78021,4855	3,16771718
480	15,2	477,2	478,2	98476,969	4,855957742

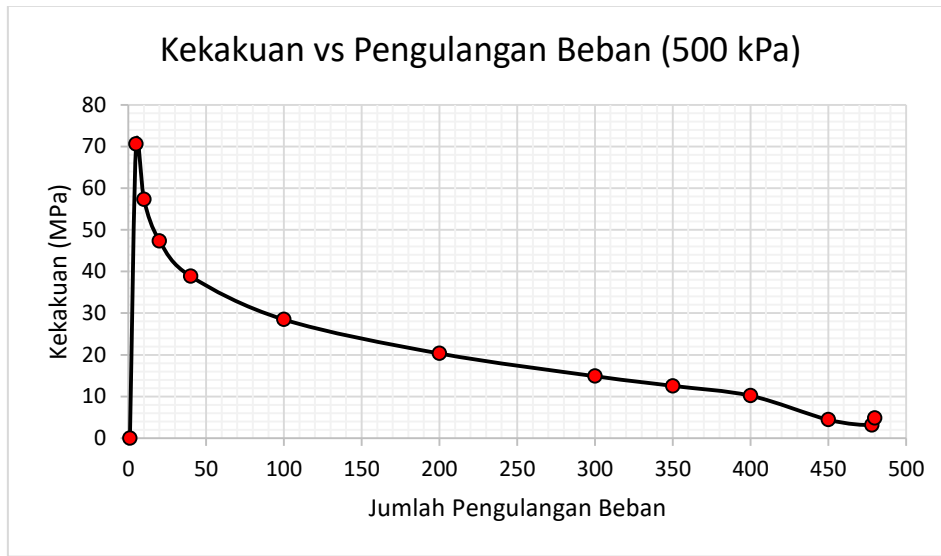
Dari Tabel 4.14, Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 diketahui kolom (a) merupakan jumlah pengulangan beban, kolom (b) merupakan tekanan awal yang diberikan saat dimulainya pengulangan beban, kolom (c) merupakan tekanan yang diberikan saat sudah terjadi pengulangan beban, kolom (d) merupakan total dari tekanan yang diberikan setiap pengulangan beban, kolom (e) merupakan nilai regangan dan kolom (f) merupakan nilai kekakuan yang diperoleh dari stress dibagi strain.

Berikut gambar grafik hubungan antara regangan dan jumlah pengulangan beban serta gambar grafik hubungan antara kekakuan dan jumlah pengulangan beban ditampilkan pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23.



Gambar 4.22 Pengulangan beban (500 kPa) vs Regangan

Berdasarkan Gambar 4.22 semakin benda uji diberikan pengulangan beban maka benda uji mengalami *strain* (regangan) atau deformasi. Untuk nilai *strain* (regangan) atau deformasi pada pemberian beban 500 kPa diketahui dari output hasil pengujian *Creep* yang terdapat pada kolom (e) akhir yaitu sebesar 98476,969  $\mu\epsilon$ .



Gambar 4.23 Pengulangan beban (500 kPa) vs Kekakuan

Berdasarkan Gambar 4.23 semakin benda uji diberikan pengulangan beban maka benda uji menjadi tidak kaku. Akan tetapi pada Variasi III ini sampel terjadi deformasi dikarenakan adanya penambahan beban. Untuk nilai *stiffnes* (kekakuan) dihitung menggunakan Persamaan 3.10, contoh perhitungan pada cycle 480x sebagai berikut:

$$E_n = \frac{\sigma}{\epsilon_n}$$

Dik.  $\sigma$  (tekanan) dalam kolom (d) = 478,2 kPa

$\epsilon_n$  (regangan) dalam kolom (e) = 98476,969  $\mu\epsilon$

Maka,  $E_n$  (kekakuan) =  $\frac{478,2}{98476,969} \times 10^6 = 4,8559$  MPa

Jadi, nilai kekakuan pada cycle 480x sebesar 4,8559 MPa.

#### 4.6 Diskusi (Stabilitas *Marshall* dan Ketahanan Deformasi)

Tujuan karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh aspal beton salah satunya adalah Stabilitas, pengujian stabilitas bertujuan untuk mengukur ketahanan suatu campuran beton aspal terhadap deformasi selama pembebanan lalu lintas atau kemampuan maksimum dari suatu benda uji dalam menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis. Untuk mengetahui nilai stabilitas campuran digunakan metode pengujian *Marshall*. Metode pengujian *Marshall* adalah suatu metode pengujian yang dilakukan untuk mengukur beban maksimum yang dapat dipikul benda uji sebelum runtuh (*Marshall Stability*) dan deformasi permanen dari suatu benda uji sebelum runtuh (*Marshall Flow*) serta turunannya yang merupakan perbandingan diantara keduanya yang disebut dengan *Marshall Quotient* (MQ) (Gusti, 2018). Diketahui nilai stabilitas gradasi terbuka menggunakan spesifikasi modifikasi BBA pada kadar aspal optimum (KAO) 6,1% ialah sebesar 2055,91 Kg dan rata-rata nilai *flow* 3,6 mm. serta nilai MQ yaitu 571,086 kg/mm.

Kemudian dilakukan pengujian ketahanan deformasi menggunakan *Creep Test* pada KAO 6,1% dengan temperatur pengujian 60 °C (temperatur perkerasan maksimum di Indonesia), diberikan 3 variasi pembebanan yaitu (100 kPa, 400 kPa dan 500 kPa) dan siklus pengulangan beban sebesar 3600 kali. Deformasi permanen pada campuran aspal adalah suatu kerusakan yang terjadi pada suhu perkerasan tinggi setelah terjadinya pembebanan. Seiring dengan meningkatnya suhu perkerasan, campuran aspal menjadi lebih lunak dan lebih rentan. Deformasi permanen terjadi ketika campuran aspal mengalami perubahan bentuk ketika dibebani dan kemudian tidak pulih kembali ke posisi semula (unrecoverable). Seiring waktu, deformasi permanen dapat menyebabkan rutting (Asphalt Institute, 2014).

Setelah dilakukan pengujian *Creep* diketahui hasil ketahanan deformasi, yang dimana pada beban 100 kPa belum terjadi deformasi karena menggunakan beban standar. Dan saat diberikan beban sebesar 400 kPa terjadi deformasi pada siklus pembebanan rata-rata 1559 kali dan pada beban 500 kPa deformasi terjadi lebih cepat pada siklus pembebanan rata-rata 480 kali. Nilai stabilitas yang tinggi tidak menjamin kemampuan menerima beban berulang dengan beban yang tinggi. Untuk itu pengujian campuran perkerasan tidak bisa diuji hanya dengan *Marshall*

akan tetapi pengujian harus komprehensif. Sehingga campuran perkerasan pada penelitian ini tidak cocok digunakan pada *runway* bandara untuk pelayanan pesawat komersil, akan tetapi campuran perkerasan mampu menahan untuk jenis pesawat berukuran kecil seperti pesawat dengan beban dibawah 500 kPa. Berikut daftar pesawat dengan beban dibawah 500 kPa atau 0,5 MPa dengan tire pressure 72,52 psi ditunjukkan pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.24.

Tabel 4.17 Daftar Pesawat dengan Beban Dibawah 500 kPa atau 0,5 MPa

Aircraft	Weight max/min kN	Load on one main gear (%)	Tire Pressure MPa
Antonov AN-24	207		0.42
	130		
Beech 2000 Starship	65		0.54
	56		
Beech 35, 36 Series (Bonanza)	16		0.28
	10		
Beech 55, 56 Series (Baron)	25		0.39
	16		
Beech King Air 90 series	49		0.38
	27		
Beech Queen Air, 65, 70, 80 series	40		0.33
	25		
Cessna T303 (crusader)	23		0.4
	12		
Convair 640	245		0.52
	140		
DC 3	147		0.31
	80		
DC4	335	46.75	0.53
	200		
Convair 340, 440, 540	222		0.47
	140		
Canadair CL-41A (CT-114 Tutor)	49		0.37
	24		
Canadair CL-215, 415	196		0.55
	130		

Gambar 4.24 Tipe-Tipe Pesawat dengan Tire Pressure < 72,52 psi



Sumber: Aircraft Classification Numbers (ACN's), Transport Canada, Technical Evaluation Engineering.

Selain faktor pembebanan, faktor tingginya temperatur juga mempengaruhi terjadi deformasi yang dimana semakin tinggi temperatur maka

semakin cepat terjadi deformasi. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Dandamanu (2003) pada temperatur 60°C menunjukkan nilai deformasi lebih tinggi dari pada pengujian pada temperatur 25°C, hal ini disebabkan oleh viskositas aspal yang menyelimuti agregat semakin berkurang sehingga akan menurunkan ikatan antara agregat yang pada akhirnya akan meningkatkan nilai deformasi campuran.

Diketahui bahwa dengan tingginya nilai stabilitas suatu campuran, maka nilai ketahanan deformasi menjadi rendah. Sebaliknya, apabila nilai stabilitas campuran lebih rendah, maka nilai ketahanan deformasinya tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas aspal beton, yaitu gesekan internal yang dapat berasal dari kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal. Serta daya kohesi yang ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal (Sukirman, 2007).

Prosedur pada penelitian ini tidak disesuaikan dengan kondisi lapangan, yang dimana pengujian kondisi lapangan tidak sama dengan uji di laboratorium. Adapun pengujian *Creep* di laboratorium ini dilakukan secara *unconfined* atau tidak diberikan batas ataupun penyangga/penahan sehingga pada saat terjadi deformasi/keruntuhan pada benda uji, material campuran akan berceceran kemana-mana dan hasil dari pengujian ini tidak maksimal seperti yang terlihat pada Gambar 4.25 berikut.



Gambar 4.25 Benda Uji Mengalami Keruntuhan

Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya diharapkan melakukan pengujian *Creep* secara *confined* atau diberikan batas ataupun penyangga/penahan sehingga pada saat terjadi deformasi/keruntuhan pada benda uji, material campuran tidak akan berceceran kemana-mana. Sehingga pengujian yang dilakukan dilaboratorium ini sama dengan pengujian yang dilakukan pada kondisi dilapangan untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai propertis *Marshall* campuran aspal beton dengan menggunakan agregat buatan untuk gradasi rapat (FAA) sebagai berikut: untuk nilai stabilitas, *flow*, VMA dan MQ dari lima kadar aspal memenuhi persyaratan. Sementara nilai Target Air Voids atau VIM hanya memenuhi persyaratan pada kadar aspal 5,00% dan VFB pada kadar aspal 5,00%. Sedangkan untuk gradasi terbuka (BBA) sebagai berikut: untuk nilai stabilitas, VMA dan MQ dari lima kadar aspal memenuhi persyaratan. Sementara nilai *flow* tidak masuk persyaratan pada kadar aspal 7,00%, VFB hanya kadar aspal 6,00% yang memenuhi persyaratn dan Target Air Voids atau VIM hanya memenuhi persyaratan pada kadar aspal 6,00%.
2. Nilai kadar aspal optimum (KAO) untuk gradasi rapat (FAA) yaitu 5,1% dan nilai kadar aspal optimum (KAO) untuk gradasi terbuka (BBA) yaitu 6,1%, yang dimana kadar aspal optimum dari gradasi FAA lebih rendah dibandingkan kadar aspal optimum dari gradasi BBA.
3. Nilai ketahanan terhadap deformasi untuk gradasi BBA sangat berpengaruh terhadap besarnya beban yang diberikan sehingga terbukti sampel mudah runtuh ketika diberikan beban sebesar 400 kPa dan 500 kPa. Nilai ketahanan deformasi untuk campuran agregat alam dan agregat buatan dengan perbandingan 75% : 25% berturut-turut adalah 7535,47 $\mu\epsilon$  (sampel belum runtuh), 93520 $\mu\epsilon$  (sampel runtuh pada cycle 1559x) dan 98476,97 $\mu\epsilon$  (sampel runtuh pada cycle 480x). Maka dari itu, dinyatakan bahwa campuran perkerasan dengan agregat buatan bergradasi terbuka (BBA) dengan KAO 6,1% tidak mampu menahan deformasi dalam jangka waktu yang cukup lama ketika diberikan beban 400 kPa dan 500 kPa.

## 5.2 Saran

Berikut merupakan beberapa saran yang mungkin dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Perlu dilakukan pengujian lanjutan terkait ketahanan deformasi dengan menggunakan alat *Wheel Tracking Machine* (WTM) sebagai pembanding dari pengujian *Creep*.
2. Diharapkan pada penelitian *creep* selanjutnya agar memperhatikan perlakuan pada sampel dan dicoba pengujian secara *confined*, agar saat sampel terjadi deformasi dan mengalami keruntuhan komposisi material campuran tidak berceceran kemana-mana untuk dibandingkan dengan hasil penelitian ini.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan agar alat yang digunakan di Laboratorium bisa diperbaharui dan ditingkatkan kualitasnya untuk mempermudah dalam pembuatan sampel.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Z. Z., Wesli, W., & Akbar, S. J. (2017). Penggunaan Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton Ac-Bc. *Teras Jurnal*, 6(2), 121. <https://doi.org/10.29103/tj.v6i2.95>
- Aditama, A. T. (2017). *Analisis gradasi agregat sebagai upaya perbaikan karakteristik campuran aspal beton geopolimer*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Armin, H. Y. (2019). The Effect of Slope Granulator on The Characteristic of Artificial Geopolymer Aggregate Used in Pavement. *Journal of Engineering Science and Technology*, 14(3).
- Baskara, G. M. B. (2019). *Analisis Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton Dengan Penggunaan Agregat Buatan Berbahan Geopolimer*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Budiman, L., & Sukirman, S. (2018). Studi Penggunaan Batu Kapur Kalipucang sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus Beton Aspal Jenis AC-BC, 4(1), 45–55.
- Dandamanu, Ketut, Bagus, I. (2003). *Pengaruh Kadar Aspal dalam Campuran Beton Aspal (Spesifikasi 87) Terhadap Deformasi Permanen dengan Menggunakan Uji “Creep” dan Hveem Stabilometer*. Universitas Gadjah Mada.
- Ekaputri, J. J. (2011). Leachable Boron From Fly Ash. *Jurnal Purifikasi*, 12(2). <https://doi.org/10.12962/j25983806.v12.i2.85>
- Gao, J., Wang, H., Bu, Y., You, Z., Hasan, M. R. M., & Irfan, M. (2018). Effects of coarse aggregate angularity on the microstructure of asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 183, 472–484. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.170>
- Hardiyatmo, Christady, H. (2007). *Pemeliharaan Jalan Raya: Perkerasan, Drainase, Longsoran* (I). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Joubert, P. B., Gounder, L., & Wy, S. van. (2004). Asphalt Trial Sections in The

- Touch Down Zone on Johannesburg International Airport. *Proceedings of the 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA'04)*, (September), 31–42.
- Karyawan, I. D. A., Ahyudanari, E., & Ekaputri, J. J. (2017). Potential Use of Fly Ash Base-Geopolymers Aggregate Substitution in Asphalt Concrete Mixtures. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(5), 3744–3752. <https://doi.org/10.21817/ijet/2017/v9i5/170905005>
- Kofteci, S., & Nazary, M. (2018). Experimental study on usability of various construction wastes as fine aggregate in asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 185, 369–379. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.059>
- Kristiawan, F., Ahyudanari, E., & Istiar. (2017). Evaluasi Kesesuaian Jadwal Pemeliharaan Runway dengan Pertumbuhan Pergerakan Pesawat di Bandar Udara Juanda, 6(2), 2–6. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.26130>
- Lahoti, M., Wong, K. K., Tan, K. H., & Yang, E. H. (2018). Effect of alkali cation type on strength endurance of fly ash geopolymers subject to high temperature exposure. *Materials and Design*, 154, 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.05.023>
- Marpaung, A., Setiadji, B. H., Sipil, J. T., Teknik, F., Diponegoro, U., & Agregat, G. (2017). Evluasi Gradasi Agregat Pada Campuran Ac-Wc, 6, 1–11.
- Misbah. (2015). Pengaruh Variasi Kadar Agregat Kasar Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Panas Aspal Agregat (Ac-Bc) Dengan Pengujian *Marshall*, 17(2), 100–106.
- Putri, I. R. B., Hariyadi, Karyawan, I. D. M. A., & Ahyudanari, E. (2018). Pengaruh Variasi Penambahan Agregat Buatan Terhadap Kadar Aspal Optimum untuk Perkerasan Aspal Lapis Aus, 7(2), 2–6.
- Roesler, J. (2017). Airport Pavements : Reflection on 20 Years of Design , Material and Construction Innovations.
- Seno, R. H. T. (2015). No TitleEvaluasi Kekuatan Perkerasan Sisi Udara (Runway,Taxiway,Apron) Bandara Juanda Dengan Metode Perbandingan ACN-PCN, 4(1), 74. Retrieved from <http://repository.its.ac.id/51850/>
- Setyarini, C. (2017). Jurnal Perhubungan Udara Analisis Pengaruh Pergeseran

- Runway Holding Position terhadap Runway Occupancy Time dan Runway Capacity ( Studi Kasus : Bandar Udara Internasional Juanda ) Analysis of the Effect of Displaced Runway Holding Position toward Runway, 105–116. <https://doi.org/10.25104/wa.v43i2.311.105-116>
- Sparsa, A. (2018). Analisis Perbandingan Karakteristik Campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) Yang Dipadatkan Secara Dingin Dan Panas, 6(1), 18–27.
- Sudrajat, Soemitro, R. A. A., Budianto, H., & Ekaputri, J. J. (2016). *Penilaian Agregat Buatan Berbahan Dasar Flyash untuk Bahan Perkerasan Jalan Diberbagai Variasi Suhu Perawatan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.
- Sukirman, S. (2007). *Beton Aspal Campuran Panas (Kedua)*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Suroso, T. W. (2008). Faktor-faktor penyebab kerusakan dini pada perkerasan jalan.
- Tai Nguyen, H. T., & Nhan Tran, T. (2018). Effects of crumb rubber content and curing time on the properties of asphalt concrete and stone mastic asphalt using dry process. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(3), 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.09.014>
- Thanaya, A. (2016). Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus ( AC-WC ) Menggunakan Aspal Penetrasi 60 / 70 dengan Penambahan Lateks Material dan Metode, 22(2), 77–86.
- Thanaya, I. N. A. (2017). *Manual Prosedur Uji Sampel: Dynapave Universal Testing Machine (UTM) 30*. Universitas Udayana.
- Thom, N. (2008). *Principles of pavemenet engineering* (2010th ed.). London.
- Triwulan, Ekaputri, J. J., & Adiningtyas, T. (2007). Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sipil*, 33(3), 33–45. [https://doi.org/http://scholar.google.com/scholar?q=related:KjcC6sOngW0J:scholar.google.com/&hl=id&as\\_sdt=0,5#0](https://doi.org/http://scholar.google.com/scholar?q=related:KjcC6sOngW0J:scholar.google.com/&hl=id&as_sdt=0,5#0)
- Wahyudi, A., Sipil, D. T., Teknik, F., & Sepuluh, I. T. (2017). Analisis Perkerasan Lentur Landas Pacu Bandar Udara Juanda Dengan Membandingkan Aspal Shell, 6(2), 40–45.

- Widayanti, N. (2019). *Analisis Kelelahan (Fatigue) Lapis Perkerasan Lentur Pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Agregat Buatan Fly Ash Geopolimer*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Widyantara, I. G. N., Suparma, L. B., & Muthohar, I. (2018). Stabilitas *Marshall* dan Ketahanan Deformasi Warm Mix Asphalt Menggunakan Aditif Zycotherm, *XIV*(1).
- Widyatmoko, I., Hakim, B., Fergusson, C., & Richardson, J. (2008). The Use of French Airfield Asphalt Concrete in the UK. *European Road Review*, (13).

## LAMPIRAN A

## Lampiran A.1

### Formulir Pemeriksaan Agregat Kasar

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pengujian :

## BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

Tanggal Pengujian : 21 Oktober 2018  
Jenis Material : Agregat kasar

Pengambilan Data

Benda Uji		I	II	Rata – Rata
<b>A</b>	Benda uji kering oven (Bk) (gram)	2003.2	2002.7	2002.95
<b>B</b>	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj) (gram)	2048	2052	2050
<b>C</b>	Berat benda uji didalam air (Ba) (gram)	1264	1260	1262
<b>D</b>	Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2.555	2.529	2.542
<b>E</b>	Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2.612	2.591	2.602
<b>F</b>	Berat Jenis Semu (apparent) $\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2.710	2.697	2.703
<b>G</b>	Penyerapan $\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	2.236	2.462	2,349

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :  
Pengujian :

## KEAUSAN AGREGAT

Tanggal Pengujian :  
Jenis Material : Agregat kasar  
Pengambilan Data

Saringan	Berat Benda Uji (gram)				
Lolos	Tertahan	Sebelum I	Sesudah I	Sebelum II	Sesudah II
		A	B	A	B
3/4"	1/2"	2500	3531,5		
1/2"	3/8"	2500			
3/8"	1/4"			2500	3390,5
1/4"	4"			2500	
Jumlah Berat		5000	3531.5	5000	3390,5
Jumlah Bola Baja		11		8	
Lolos Saringan No.12		1467,7		1609,5	

Perhitungan		I	II	Rata – Rata
A	Berat sebelum di uji	5000	5000	5000
B	Berat sesudah di uji	3531,5	3390,5	3461
C	Lolos saringan No. 12	1467,7	1609,5	1538,60
D	Keausan (%) $(C/A) \times 100\%$	29,37	32,2	30,8

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pengujian :

## **KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL**

Tanggal Pengujian :  
Jenis Material : Agregat kasar

Pengambilan Data

Pengamatan	Hasil Pengamatan/Kelekatan (%)
1	99
2	98
Rata – rata	98,5



## Lampiran A.2

### Formulir Pemeriksaan Agregat Halus

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :  
Pengujian :

## BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

Tanggal Pengujian : 18 Oktober 2018  
Jenis Material : Agregat halus

### Pengambilan Data

Benda Uji		I	II	Rata – Rata
A	Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)	500	487.9	493.95
B	Berat benda uji kering oven ( <b>Bk</b> ) (gram)	482.7	473	477.85
C	Berat Piknometer + air (gram)	679.8	626.4	653.1
E	Berat Piknometer + benda uji + air ( <b>Bt</b> ) (gram)	993.5	932.8	963.15
F	Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{B+200 - Bt}$	2,591	2,606	2,599
G	Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{200}{B+200+ Bt}$	2,684	2,688	2,686
H	Berat Jenis Semu (apparent) $\frac{Bk}{B+Bk+Bt}$	2,856	2,839	2,848
I	Penyerapan $\frac{200-Bk}{Bk} \times 100\%$	2,937	2,993	2,965

### Formulir Pemeriksaan Filler

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :  
Pengujian :

### BERAT JENIS DAN PENYERAPAN FILLER

Tanggal Pengujian : 18 Oktober 2018  
Jenis Material : Filler

Pengambilan Data

Benda Uji		I	II	Rata – Rata
A	Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)	500	500	500
B	Berat benda uji kering oven ( <b>Bk</b> ) (gram)	490,5	494,1	492,3
C	Berat Piknometer + air (gram)	631,9	633,7	632,8
E	Berat Piknometer + benda uji + air ( <b>Bt</b> ) (gram)	940,9	948	944,45
F	Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{B+200 - Bt}$	2,568	2,661	2,614
G	Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{200}{B+200+ Bt}$	2,618	2,693	2,655
H	Berat Jenis Semu (apparent) $\frac{Bk}{B+Bk+Bt}$	2,702	2,748	2,725
I	Penyerapan $\frac{200-Bk}{Bk} \times 100\%$	1,937	1,194	1,399

### Lampiran A.3

#### Formulir Pemeriksaan Agregat Buatan

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :

### AGREGAT BUATAN GEOPOLIMER

Tanggal Pengujian : 18 Oktober 2018  
Sumber Material : Paiton Power Plant Probolinggo

#### Pengambilan Data

No	Test	Rasio 2,5		Rerata
		Kemiringan Granulator 50°		
		I	II	
1	Berat Jenis (bulk) gr/cm <sup>3</sup>	1,84	1,86	1,85
2	Berat Jenis kering permukaan jenuh gr/cm <sup>3</sup>	1,96	1,97	1,97
3	Berat Jenis Semu (apparent) gr/cm <sup>3</sup>	2,10	2,08	2,09
4	Penyerapan %	6,60	5,56	6,08
5	Kekalan Agregat terhadap Larutan Magnesium Sulfat %	6,685	3,754	5,219
6	Abrasi dengan Mesin Los Angeles %	24,06	21,50	22,78
7	Kelekatan Agregat terhadap Aspal %	98	96	97

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :

## BERAT JENIS AGREGAT BUATAN GEOPOLIMER

Pengambilan Data

Benda Uji		I	II	Rata – Rata
<b>A</b>	Benda uji kering oven (Bk) (gram)	2500	2500	2500
<b>B</b>	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj) (gram)	2665	2639	2652
<b>C</b>	Berat benda uji didalam air (Ba) (gram)	1308	1298	1303
<b>D</b>	Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{Bj - Ba}$	1.842	1.864	1.853
<b>E</b>	Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{Bj}{Bj - Ba}$	1.964	1.968	1.966
<b>F</b>	Berat Jenis Semu (apparent) $\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2.097	2.080	2.089
<b>G</b>	Penyerapan $\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	6.600	5.560	6.080

#### Lampiran A.4

#### Formulir Pemeriksaan Aspal

Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

### BERAT JENIS ASPAL

Tanggal Pengujian : 21 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

#### Pengambilan Data

Benda Uji		I	II
A	Berat Picnometer + Tutup (gram)	27.20	27.20
B	Berat Picnometer + Tutup + Air (gram)	52.20	52.20
C	Berat Picnometer + Tutup + Aspal (gram)	36.80	39.80
D	Berat Picnometer + Tutup + Aspal + Air (gram)	52.50	52.60
E	Berat Jenis Aspal = $(C-A) / (B-A) - (D-C)$	1.032	1.033
F	Rata – Rata	1.033	

Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

## PENETRASI ASPAL

SNI 06 – 2456 – 1991

Tanggal Pengujian : 22 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

### Pengambilan Data

Pembukaan Benda Uji	Perlakuan	Pembacaan Waktu	Pembacaan Suhu
	Benda Uji dipanaskan		Pembacaan suhu oven temperatur 110°C
	Mulai	09.15	
	selesai	09.30	
Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	09.33	
	Selesai	10.33	
Perendaman Benda Uji	Direndam pada suhu 25°C		Pembacaan suhu waterbath temperatur 25°C
	Mulai	10.33	
	Selesai	11.33	
Pemeriksaan Benda Uji	Penetrasi 25°C, 100 gr, 5 detik		Pembacaan suhu penetrometer temperatur 25°C
	Mulai	11.33	
	Selesai	11.38	
Penetrasi pada suhu 25°C, beban 100 gr, 5 detik		A	B
Pengamatan			
1		66	63
2		63	63
3		65	61
4		65	64
5		64	62
Rata-rata		65	65
Rata-rata (A,B)		65	

Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

## DAKTILITAS

SNI 06 – 2432 – 1991

Tanggal Pengujian : 22 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

### Pengambilan Data

Pembukaan Benda Uji	Perlakuan	Pembacaan Waktu	Pembacaan Suhu
	Benda Uji dipanaskan		Pembacaan suhu oven temperatur 110°C
	Mulai	13.37	
	selesai	13.49	
Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	13.50	
	Selesai	14.50	
Perendaman Benda Uji	Suhu perendaman 25°C		Pembacaan suhu waterbath temperatur 25°C
	Mulai	14.50	
	Selesai	15.50	
Pengujian	Alat		Pembacaan suhu alat temperature 25°C
	Mulai	15.50	
	Selesai	16.10	

Daktalitas suhu 25°C 5 cm per menit		Pembacaan Alat
		cm
Pengamatan	1	110 cm
	2	120 cm
Rata-rata		115 cm

Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

## **TITIK LEMBEEK ASPAL**

SNI 06 – 2434 – 1991

Tanggal Pengujian : 22 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

### **Pengambilan Data**

Pembukaan Benda Uji	Perlakuan	Pembacaan Waktu	Pembacaan Suhu
	Benda Uji dipanaskan		Pembacaan suhu oven temperatur 110°C
	Mulai	09.15	
	selesai	09.30	
Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	09.39	
	Selesai	10.39	
Perendaman Benda Uji	Suhu perendaman 25°C		Pembacaan suhu waterbath temperatur 25°C
	Mulai	10.39	
	Selesai	11.39	
Pengujian	Alat		Pembacaan suhu penetrometer temperatur 25°C
	Mulai	11.39	
	Selesai	11.42	

No	Waktu	Suhu
I	2:32,22	55°C
II	2:34,37	56°C
Selisih	2,15	1°C



Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

## **TITIK NYALA DAN BAKAR**

SNI 06 – 2433 – 1991

Tanggal Pengujian : 22 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

### **Pengambilan Data**

Pembukaan Benda Uji	Perlakuan	Pembacaan Waktu	Pembacaan Suhu
	Benda Uji dipanaskan		Pembacaan suhu oven temperatur 110°C
	Mulai	14.37	
	selesai	14.48	
Penuangan Benda Uji	Didiamkan pada suhu ruang		Pembacaan suhu menuang temperatur 110°C
	Mulai	14.54	
	Selesai	14.56	
Pengujian	Alat		
	Mulai	14.58	
	Selesai	15.17	

Titik Nyala dan Titik Bakar	Pembacaan Pengukuran Pada Alat
Pengamatan I	331°C
Pengamatan II	329°C

## LAMPIRAN B

## Lampiran B.1 Formulir Perhitungan Karakteristik Marshall

### B.1.1. Perhitungan kadar aspal optimum gradasi terbuka/BBA

No. Briket			Tebal Benda Uji	Kadar Aspal Pb	Kadar Agregat	Berat Benda Uji			volume benda uji	BJ Campuran		Vol. total aspal	Vol. total agregat	VIM 3.5	VMA ≥ 15	VFB 76-82	Stabilitas			flow 2.5-4	MQ ≥ 250
						Kering	SSD	Dalam Air		Kepadatan (Berat isi)	Maksimum (Teoritis)						Bacaan Alat	Angka Koreksi	Setelah Koreksi		
			mm	%	%	gr	gr	gr		Gmb	Gmm	%	%	%	%	%				mm	kg/mm
a			b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
5	-	I	71.9	5	95	1173.4	1194.7	655	539.7	2.17	2.36	10.53	81.61	7.86	18.39	57.26	620	0.82	1687.154	4.40	383.44
		II	71.3	5	95	1158.7	1181.1	650	526.1	2.20	2.36	10.56	81.90	7.54	18.10	58.36	725	0.83	1995.246	3.30	604.62
		III	69.0	5	95	1177.1	1195	660	533	2.21	2.36	10.65	82.59	6.76	17.41	61.20	640	0.88	1856.155	3.30	562.47
Rata-rata									532.93	2.20	2.36	10.58	82.03	7.39	17.97	58.94	662	0.84	1846.18	3.67	516.8
5.5	-	I	69.4	5.5	94.5	1177.5	1199.8	668	536.8	2.19	2.35	11.79	82.68	5.53	17.32	68.09	640	0.87	1840.291	3.10	593.64
		II	71.3	5.5	94.5	1166.5	1186	657	529	2.21	2.35	11.75	82.34	5.92	17.66	66.51	750	0.83	2062.395	3.90	528.82
		III	68.1	5.5	94.5	1180.9	1196.9	665	531.9	2.22	2.35	11.83	82.90	5.28	17.10	69.16	705	0.90	2085.448	4.10	508.65
Rata-rata									532.56	2.21	2.35	11.79	82.64	5.58	17.36	67.92	698	0.87	1996.045	3.70	543.7
6	-	I	69.3	6	94	1189.4	1206.4	671	532.4	2.23	2.33	12.91	82.51	4.58	17.49	73.82	700	0.87	2015.71	4.00	503.93
		II	68.5	6	94	1194.5	1210.1	676	534.1	2.24	2.33	13.00	83.07	3.94	16.93	76.76	710	0.89	2081.172	4.00	520.29
		III	68.1	6	94	1181.5	1196.4	671	525.4	2.25	2.33	13.07	83.53	3.41	16.47	79.32	600	0.90	1776.502	3.90	455.51
Rata-rata									530.63	2.24	2.33	12.99	83.04	3.98	16.96	76.63	670	0.88	1957.795	3.97	493.2
6.5	-	I	67.4	6.5	93.5	1187.8	1197.8	679	518.8	2.29	2.32	14.41	84.59	1.01	15.41	93.51	600	0.91	1807.901	4.10	440.95
		II	68.1	6.5	93.5	1192.6	1198.5	677	528	2.26	2.32	14.40	84.49	1.12	15.51	92.81	595	0.90	1761.698	4.00	440.42
		III	67.1	6.5	93.5	1186.7	1192.9	673	523.9	2.27	2.32	14.37	84.33	1.31	15.67	91.70	550	0.92	1673.906	3.90	429.21
Rata-rata									523.56	2.27	2.32	14.39	84.47	1.15	15.53	92.67	582	0.91	1747.835	4.00	436.9
7	-	I	66.6	7	93	1177.9	1197.7	680	517.7	2.30	2.30	15.43	83.61	0.97	16.39	94.11	555	0.93	1708.231	4.00	427.06
		II	66.5	7	93	1189.3	1196	675	521	2.28	2.30	15.48	83.88	0.65	16.12	96.03	580	0.93	1789.97	4.30	416.27
		III	67.2	7	93	1180.2	1198.5	679	519.5	2.29	2.30	15.40	83.48	1.12	16.52	93.25	500	0.92	1514.847	3.90	388.42
Rata-rata									519.4	2.29	2.30	15.43	83.66	0.91	16.34	94.47	545	0.93	1671.016	4.07	410.6

### B.1.2. Perhitungan kadar aspal optimum gradasi rapat/FAA

No. Briket			Tebal Benda Uji	Kadar Aspal Pb	Kadar Agregat	Berat Benda Uji			volume benda uji	BJ Campuran		Vol. total aspal	Vol. total agregat	VIM 3.5	VMA ≥ 15	VFB 76-82	Stabilitas			flow 2.5-4	MQ ≥ 250
						Kering	SSD	Dalam Air		Kepadatan (Berat isi)	Maksimum (Teoritis)						Bacaan Alat	Angka Koreksi	Setelah Koreksi		
			mm	%	%	gr	gr	gr		Gmb	Gmm	%	%	%	%	%				mm	kg/mm
a			b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
4.5	-	I	71.4	4.5	95.5	1167.1	1209.1	656	553.1	2.11	2.38	9.86	84.99	7.41	19.89	62.75	460	0.83	1261.895	3.20	394.34
		II	70.7	4.5	95.5	1177.9	1207.5	667	540.5	2.18	2.38	9.86	85.05	4.38	17.27	74.66	530	0.84	1477.278	2.60	568.18
		III	71.0	4.5	95.5	1174.2	1208.9	663	545.9	2.15	2.38	9.73	83.91	5.62	18.34	69.37	550	0.84	1523.330	3.00	507.78
Rata-rata									546.5	2.15	2.38	9.82	84.65	5.80	18.50	68.92	513	0.84	1420.834	2.93	490.10
5	-	I	69.5	5	95	1168.1	1206.2	667	539.2	2.17	2.37	11.11	85.77	4.34	18.19	76.12	655	0.87	1878.010	3.30	569.09
		II	69.3	5	95	1172.4	1202.3	663	539.3	2.17	2.37	11.15	86.06	4.01	17.90	77.60	550	0.87	1582.636	2.70	586.16
		III	69.4	5	95	1176.5	1206.1	670	536.1	2.19	2.37	11.02	85.06	3.10	17.12	81.90	595	0.87	1709.666	2.90	589.54
Rata-rata									538.2	2.18	2.37	11.09	85.63	3.82	17.74	78.54	600	0.87	1723.438	2.97	581.60
5.5	-	I	68.3	5.5	94.5	1174.8	1199.9	665	534.9	2.20	2.35	12.15	84.85	2.42	17.49	86.20	625	0.89	1838.473	4.00	459.62
		II	68.0	5.5	94.5	1175.2	1206.3	665	541.3	2.17	2.35	12.03	84.00	3.54	18.44	80.83	615	0.90	1822.608	3.50	520.75
		III	68.4	5.5	94.5	1171.1	1195.8	661	534.8	2.19	2.35	12.07	84.28	2.70	17.74	84.76	570	0.89	1674.332	2.80	597.98
Rata-rata									537	2.19	2.35	12.08	84.38	2.89	17.89	83.93	603	0.89	1778.471	3.43	526.11
6	-	I	67.5	6	94	1176	1192.8	665	527.8	2.23	2.34	13.46	85.67	0.39	16.74	97.70	540	0.91	1625.623	3.00	541.87
		II	66.5	6	94	1164.5	1182.4	653	529.4	2.20	2.34	13.28	84.57	1.66	17.81	90.69	650	0.93	2006.001	4.00	501.50
		III	67.4	6	94	1165.3	1179.9	653	526.9	2.21	2.34	13.36	85.04	1.12	17.36	93.53	590	0.91	1777.769	3.40	522.87
Rata-rata									528	2.21	2.34	13.36	85.09	1.06	17.30	93.97	593	0.92	1803.131	3.47	522.08
6.5	-	I	66.6	6.5	93.5	1162.4	1180.6	653	527.6	2.20	2.32	14.42	84.26	0.89	18.11	95.08	545	0.93	1677.452	3.30	508.32
		II	66.4	6.5	93.5	1155.9	1174.9	650	524.9	2.20	2.32	14.41	84.24	0.94	18.15	94.83	620	0.94	1918.540	3.00	639.51
		III	66.9	6.5	93.5	1164.6	1181.4	655	526.4	2.21	2.32	14.48	84.62	0.48	17.77	97.31	585	0.91	1759.481	4.20	418.92
Rata-rata									526.3	2.21	2.32	14.43	84.38	0.77	18.01	95.74	583	0.93	1785.157	3.50	522.25

## Lampiran B.2

### Formulir Perhitungan Immersion Test

#### B.2.1. Perhitungan pengujian perendaman pada kadar aspal optimum gradasi terbuka/BBA

No. Briket			Tebal Benda Uji	Kadar Aspal Pb	Kadar Agregat	Berat Benda Uji			volume benda uji	BJ Campuran		VIM	VMA	VFB	Stabilitas			flow	MQ
						Kering	SSD	Dalam Air		Kepadatan (Berat isi)	Maksimum (Teoritis)	3.5	≥ 15	76-82	Bacaan Alat	Angka Koreksi	Setelah Koreksi		≥ 250
			mm	%	%	gr	gr	gr		Gmb	Gmm	%	%	%				mm	kg/mm
a			b	c	d	e	f	g	h = f-g	i = e/h	j	k	l	m	n	o	p	q	r
perendaman 30 menit	6.1	I	65.40	6.1	93.9	1178.6	1185.7	653	524.7	2.21	2.33	3.72	17.41	78.64	670	0.95	2113.4	3.90	541.9
		II	65.73	6.1	93.9	1176.1	1184.6	652	521.6	2.21	2.33	3.90	17.57	77.78	640	0.95	2016.1	3.50	576.0
		III	65.47	6.1	93.9	1177.4	1185.9	653	521.9	2.21	2.33	3.85	17.53	78.02	650	0.95	2038.2	3.50	582.4
Rata-rata			65.5						522.7	2.21	2.33	3.83	17.50	80.84	653	0.95	2055.9	3.63	566.8
perendaman 24 jam	6.1	I	65.47	6.1	93.9	1165.4	1177.6	653	524.6	2.22	2.33	3.33	17.08	80.52	640	0.96	2021.4	3.10	652.1
		II	65.33	6.1	93.9	1160.6	1174.9	650	524.9	2.21	2.33	3.78	17.47	78.36	585	0.95	1833.2	2.50	733.3
		III	65.47	6.1	93.9	1164.6	1175.2	655	520.2	2.24	2.33	2.58	16.43	84.32	600	0.95	1885.2	3.00	628.4
Rata-rata			65.4						523.2	2.22	2.33	3.23	16.99	81.07	608	0.95	1913.3	2.87	671.2

### B.2.2. Perhitungan pengujian perendaman pada kadar aspal optimum gradasi rapat/FAA

No. Briket			Tebal Benda Uji	Kadar Aspal Pb	Kadar Agregat	Berat Benda Uji			volume benda uji	BJ Campuran		VIM	VMA	VFB	Stabilitas			flow	MQ
						Kering	SSD	Dalam Air		Kepadatan (Berat isi)	Maksimum (Teoritis)	3.5	≥ 15	76-82	Bacaan Alat	Angka Koreksi	Setelah Koreksi		≥ 250
			mm	%	%	gr	gr	gr		Gmb	Gmm	%	%	%				mm	kg/mm
a			b	c	d	e	f	g	h = f-g	i = e/h	j	k	l	m	n	o	p	q	r
perendaman 30 menit	5.1	I	68.0	5.1	94.9	1178	1197.1	657	540.1	2.18	2.37	3.57	17.72	79.83	750	0.90	2222.69	4.00	555.67
		II	68.8	5.1	94.9	1181.7	1198.9	656	542.9	2.18	2.37	3.77	17.89	78.93	660	0.88	1920.98	3.00	640.33
		III	68.9	5.1	94.9	1181.8	1197.9	654	543.9	2.17	2.37	3.94	18.03	78.16	680	0.88	1973.57	3.80	519.36
Rata-rata									542.3	2.18	2.37	3.76	17.88	78.97	696.67	0.89	2039.08	3.60	571.79
perendaman 24 jam	5.1	IV	68.5	5.1	94.9	1180.2	1193.6	654	539.6	2.19	2.37	3.30	17.49	81.11	670	0.89	1961.15	3.50	560.33
		V	67.0	5.1	94.9	1183.7	1193.5	652	541.5	2.19	2.37	3.36	17.53	80.85	650	0.92	1980.04	2.60	761.55
		VI	68.6	5.1	94.9	1185.3	1199.3	655	544.3	2.18	2.37	3.72	17.85	79.13	665	0.89	1945.15	2.80	694.69
Rata-rata									541.8	2.18	2.37	3.46	17.62	80.36	661.67	0.90	1962.11	2.97	672.19

## Lampiran B.3

### B.3.1. Keterangan Pada Tabel Perhitungan Karakteristik *Marshall*

Notasi	Keterangan	
a	Nomor Briket	-
b	Tebal benda uji (mm)	-
c	Kadar aspal (%)	-
d	Kadar Agregat (%)	-
e	Berat kering (gr)	-
f	Berat dalam keadaan jenuh/SSD (gr)	-
g	Berat dalam air (gr)	-
h	Volume benda uji (ml)	f-g
i	Berat isi benda uji (Gmb)	e/h
j	BJ Maksimum (Teoritis)	$\frac{100}{\frac{\% \text{agregat}}{\text{bj. agregat}} + \frac{\% \text{aspal}}{\text{bj. aspal}}}$
k	Volume total aspal (%)	$(c \times i) / \text{bj. aspal}$
l	Volume total agregat (%)	$((100 - c) / \text{bj. efektif}) \times i$
m	Rongga dalam campuran (%)	$100 \times ((j - i) / j)$
n	Ronggan dalam Agregat (%)	$100 - k$
o	Rongga terisi aspal (%)	$\frac{k}{n} \times 100$
p	Stabilitas bacaan alat	pembacaan dial
q	Angka koreksi ketebalan	lihat tabel
r	Stabilitas terkoreksi kalibrasi alat	$n \times o \times \text{kalibrasi alat}$ [7,28 (lbs) x 0,454 (kg)]
s	pelelehan ( <i>flow</i> ) (mm)	pembacaan dial
t	<i>Marshall quotient</i> (kg/mm)	r/s

# Asphalt Permanent Deformation Test

Data file name: C:\UJI 2019\PDD 2019\Mhs ITS\PDD12 60deg.D014

Test method: AS 2891.12.1-1995: Determination of the permanent compressive strain characteristics of asphalt- Dynamic creep test

Project:

Operator: Arya

Comments: Test method adjusted

## Specimen Information

Identification: PDD12 60deg

Remarks...

30-12-18

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66.0	65.9	65.8	66.2			66.0	0.2
Diameter (mm)	101.6	101.6	101.6	101.6			101.6	

Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>): 8107.3

## Set up parameters

Loading function: Haversine	Preload stress: 20 kPa
Cyclic loading stress: 100 kPa	Preload time: 600 s
Seating stress: 5 kPa	Confine axis control: No
Cycle duration: 1000 ms	Confine stress: 100 kPa
Cycle repetition time: 1000 ms	Termination cycle count: 3600
	Termination strain: 100000

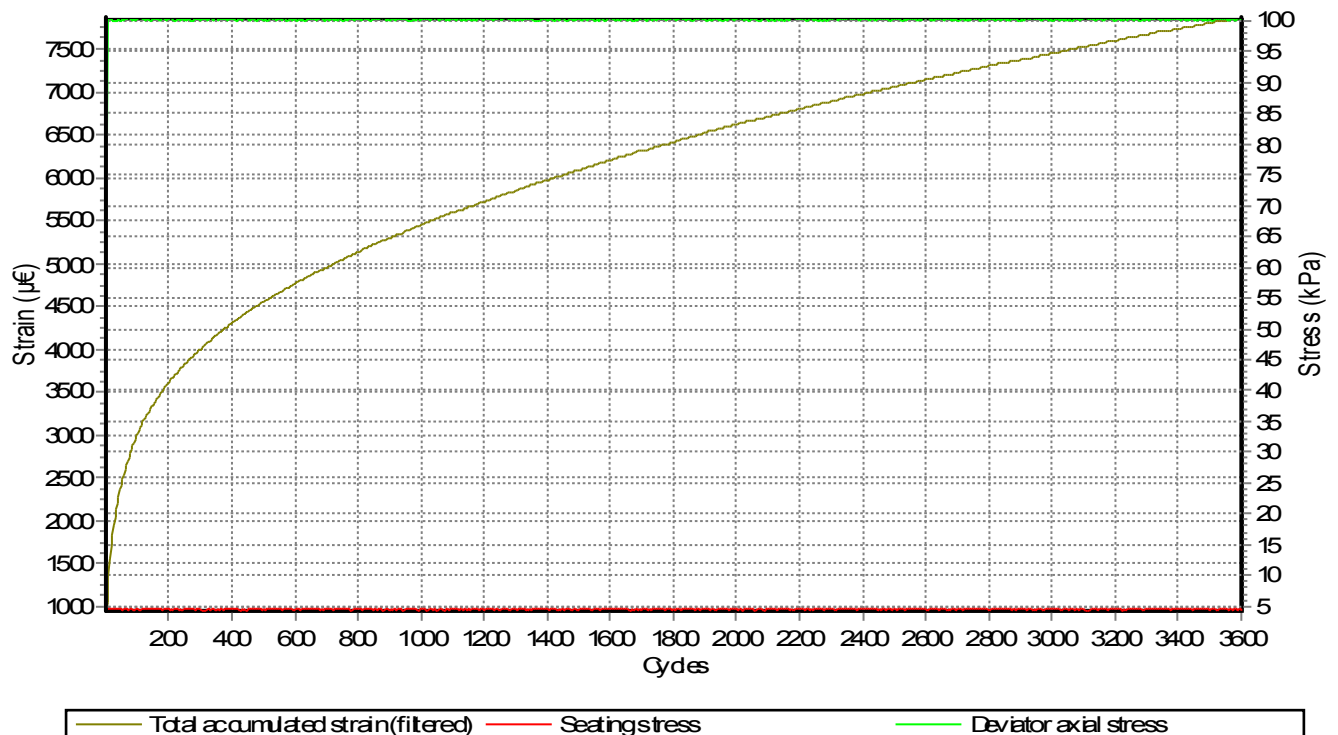
## Test Results

Test date & time: Sunday, December 30, 2018, at 9:20 AM

Cycle number: 3600

Load (kN)	Stress (kPa)	Permanent deformation (mm)	Strain rate
Contact: 0.036	4.4	Actuator: 0.510	Current (µε/cyc): 0.900
Peak: 0.849	100.3	LVDT #1: 0.522	Minimum (µε/cyc): 0.530
Deviator: 0.813	95.8	LVDT #2: 0.517	Total strain at minimum (µε): 7836

Temperature (°C)	Accumulated strain (µε)	Cycle number at
Core: 60.2	Actuator: 7730	minimum strain rate: 3529
Surface: 60.6	Total: 7874	10000 microstrain:
		30000 microstrain:





# Asphalt Permanent Deformation Test

Data file name: C:\UJI 2019\PDD 2019\Mhs ITS\PDD18 60deg.D014

Test method: AS 2891.12.1-1995: Determination of the permanent compressive strain characteristics of asphalt- Dynamic creep test

Project:

Operator: Arya

Comments: Test method adjusted

## Specimen Information

Identification: PDD18 60deg

Remarks...

30-12-18

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68.0	67.1	67.9	67.4			67.6	0.4
Diameter (mm)	101.6	101.6	101.6	101.6			101.6	

Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>): 8107.3

## Set up parameters

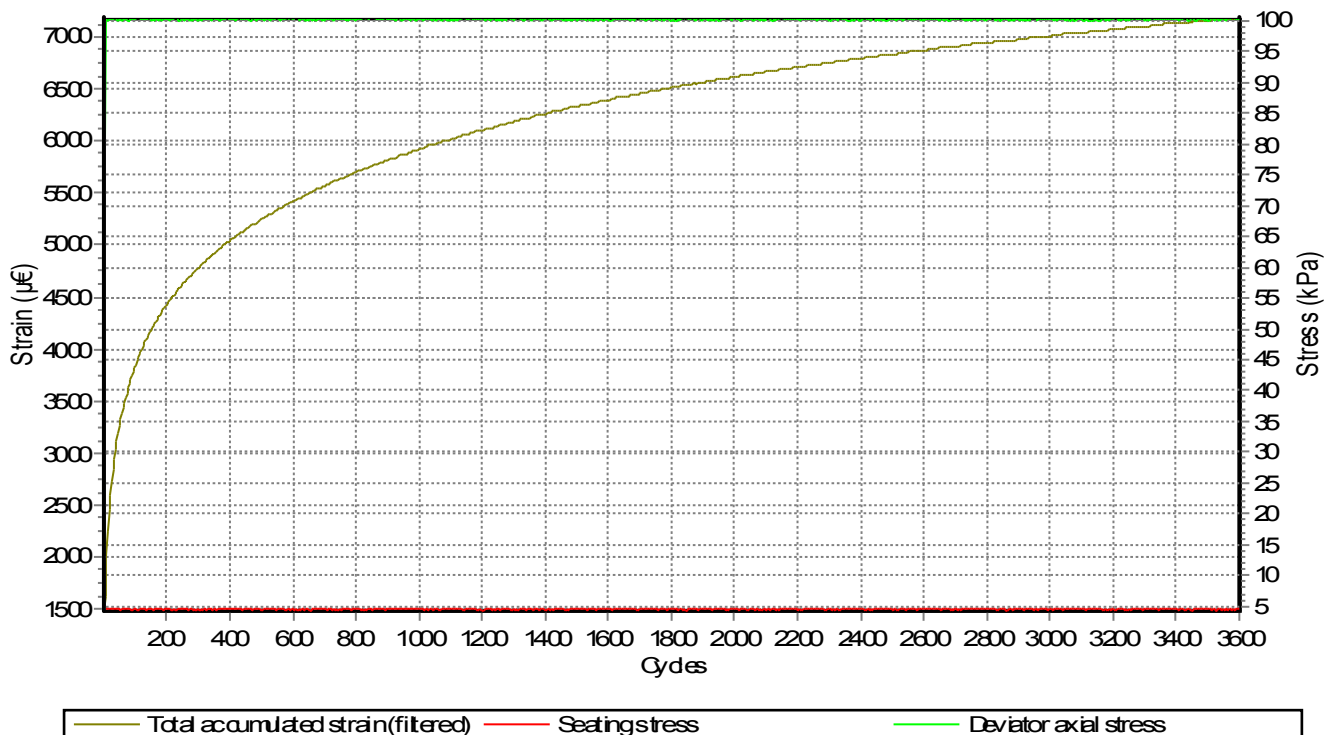
Loading function: Haversine	Preload stress: 20 kPa
Cyclic loading stress: 100 kPa	Preload time: 600 s
Seating stress: 5 kPa	Confine axis control: No
Cycle duration: 1000 ms	Confine stress: 100 kPa
Cycle repetition time: 1000 ms	Termination cycle count: 3600
	Termination strain: 100000

## Test Results

Test date & time: Sunday, December 30, 2018, at 11:49 AM

Cycle number: 3600

Load (kN)	Stress (kPa)	Permanent deformation (mm)	Strain rate
Contact: 0.037	4.6	Actuator: 0.478	Current (µ€/cyc):
Peak: 0.851	100.4	LVDT #1: 0.435	Minimum (µ€/cyc): 0.220
Deviator: 0.814	95.8	LVDT #2: 0.538	Total strain at minimum (µ€): 7027
Temperature (°C)	Accumulated strain (µ€)	Cycle number at	
Core: 60.3	Actuator: 7071	minimum strain rate: 2997	
Surface: 60.6	Total: 7197	10000 microstrain:	
		30000 microstrain:	



# Asphalt Permanent Deformation Test

Data file name: C:\UJI 2019\PDD 2019\Mhs ITS\PDD 23 60deg.D014

Test method: AS 2891.12.1-1995: Determination of the permanent compressive strain characteristics of asphalt- Dynamic creep test

Project:

Operator: Arya

Comments: Test method adjusted

## Specimen Information

Identification: PDD 23 60deg

Remarks...

31-12-18

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66.2	65.6	66.2	65.8			66.0	0.3
Diameter (mm)	101.6	101.6	101.6	101.6			101.6	

Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>): 8107.3

## Set up parameters

Loading function: Haversine	Preload stress: 20 kPa
Cyclic loading stress: 100 kPa	Preload time: 600 s
Seating stress: 5 kPa	Confine axis control: No
Cycle duration: 1000 ms	Confine stress: 100 kPa
Cycle repetition time: 1000 ms	Termination cycle count: 3600
	Termination strain: 100000

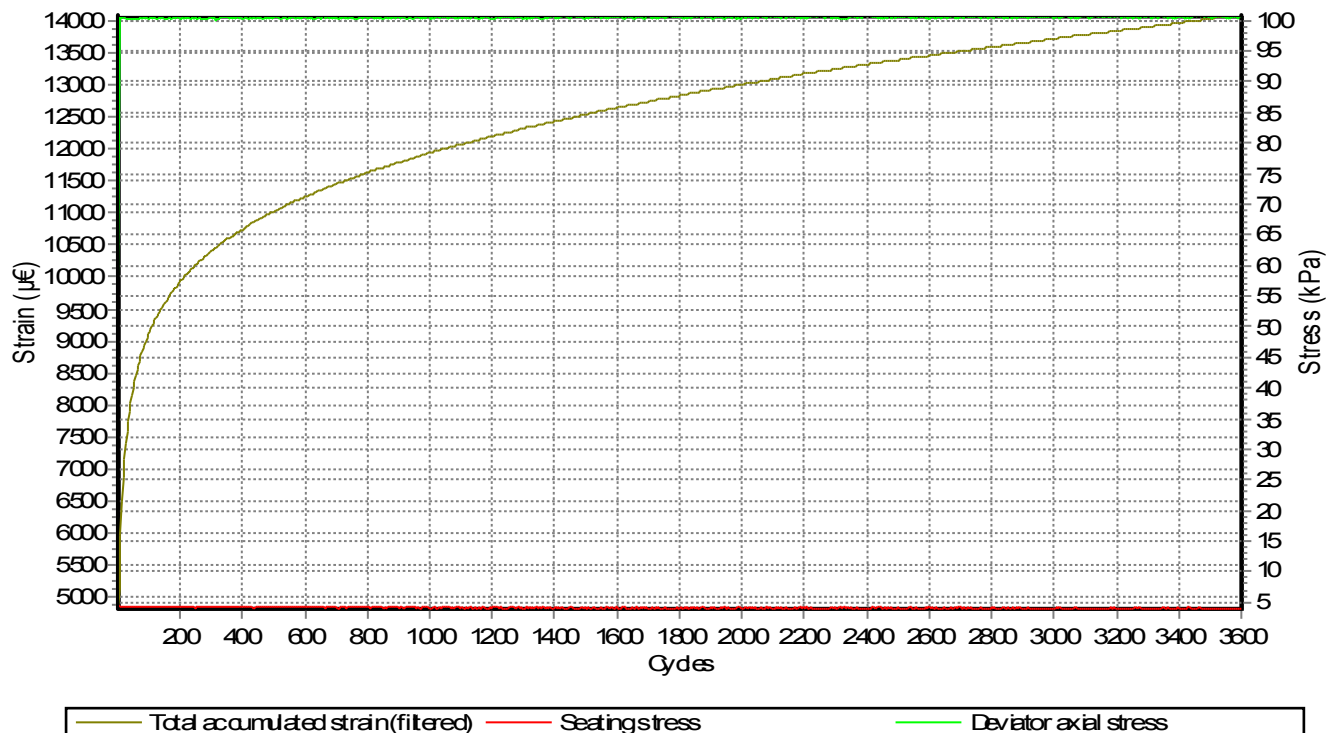
## Test Results

Test date & time: Monday, December 31, 2018, at 10:18 AM

Cycle number: 3600

Load (kN)	Stress (kPa)	Permanent deformation (mm)	Strain rate
Contact: 0.033	4.1	Actuator: 0.928	Current (µ€/cyc): 0.900
Peak: 0.849	100.6	LVDT #1: 0.951	Minimum (µ€/cyc): 0.530
Deviator: 0.816	96.6	LVDT #2: 0.908	Total strain at minimum (µ€): 13791

Temperature (°C)	Accumulated strain (µ€)	Cycle number at
Core: 60.2	Actuator: 14071	minimum strain rate: 3081
Surface: 60.6	Total: 14094	10000 microstrain: 214
		30000 microstrain:



# Asphalt Permanent Deformation Test

Data file name: C:\UJI 2019\PDD 2019\Wbs ITS\400 KPa\PDD D 400 KPa.D014

Test method: AS 2891.12.1-1995: Determination of the permanent compressive strain characteristics of asphalt- Dynamic creep test

Project:

Operator: Arya

Comments: Test method adjusted

## Specimen Information

Identification: PDD D 400 KPa

Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	65.0	67.5	65.5	66.5			66.1	1.1
Diameter (mm)	101.6	101.6	101.6	101.6			101.6	

Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>): 8107.3

## Set up parameters

Loading function: Haversine	Preload stress: 20 kPa
Cyclic loading stress: 400 kPa	Preload time: 60 s
Seating stress: 5 kPa	Confine axis control: No
Cycle duration: 1000 ms	Confine stress: 100 kPa
Cycle repetition time: 1000 ms	Termination cycle count: 3600
	Termination strain: 100000

## Test Results

Test date & time: Tuesday, January 1, 2013, at 3:53 AM

Cycle number: 2435

Load (kN)	Stress (kPa)	Permanent deformation (mm)	Strain rate
Contact: 0.103	12.7	Actuator: 2.659	Current (µ€/cyc): 6.880
Peak: 0.106	0.4	LVDT #1: 2.467	Minimum (µ€/cyc): 6.880
Deviator: 0.003	-12.3	LVDT #2: 2.709	Total strain at minimum (µ€): 39183

Temperature (°C)	Accumulated strain (µ€)	Cycle number at
Core: 60.4	Actuator: 40212	minimum strain rate: 2385
Surface: 60.6	Total: 39138	10000 microstrain: 12
		30000 microstrain: 1499



# Asphalt Permanent Deformation Test

Data file name: C:\UJI 2019\PDD 2019\WHS ITS\400 KPa\PDD C 400 KPa.D014

Test method: AS 2891.12.1-1995: Determination of the permanent compressive strain characteristics of asphalt- Dynamic creep test

Project:

Operator: Arya

Comments: Test method adjusted

## Specimen Information

Identification: PDD C 400 KPa

Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66.5	67.0	66.0	66.5			66.5	0.4
Diameter (mm)	101.6	101.6	101.6	101.6			101.6	

Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>): 8107.3

## Set up parameters

Loading function: Haversine	Preload stress: 20 kPa
Cyclic loading stress: 400 kPa	Preload time: 60 s
Seating stress: 5 kPa	Confine axis control: No
Cycle duration: 1000 ms	Confine stress: 100 kPa
Cycle repetition time: 1000 ms	Termination cycle count: 3600
	Termination strain: 100000

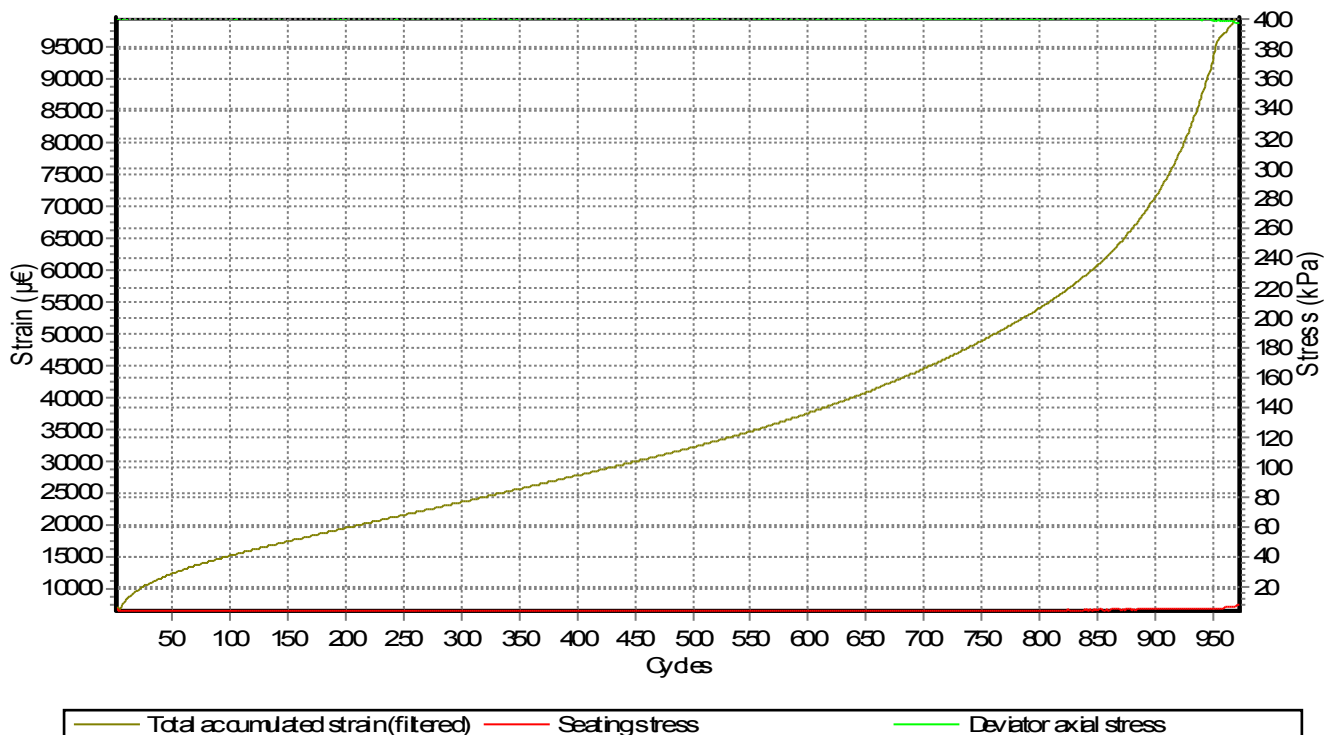
## Test Results

Test date & time: Tuesday, January 1, 2013, at 3:10 AM

Cycle number: 973

Load (kN)	Stress (kPa)	Permanent deformation (mm)	Strain rate
Contact: 0.056	6.9	Actuator: 8.102	Current (µε/cyc): 25.880
Peak: 3.282	397.9	LVDT #1: 8.867	Minimum (µε/cyc): 39.680
Deviator: 3.226	391.0	LVDT #2: 4.534	Total strain at minimum (µε): 23368

Temperature (°C)	Accumulated strain (µε)	Cycle number at
Core: 60.3	Actuator: 121835	minimum strain rate: 292
Surface: 60.5	Total: 100759	10000 microstrain: 21
		30000 microstrain: 452



# Asphalt Permanent Deformation Test

Data file name: C:\UJI 2019\PDD 2019\WHS ITS\PDD B 400 KPa.D014

Test method: AS 2891.12.1-1995: Determination of the permanent compressive strain characteristics of asphalt- Dynamic creep test

Project:

Operator: Arya

Comments: Test method adjusted

## Specimen Information

Identification: PDD B 400 KPa

Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68.0	68.0	70.0	69.0			68.8	1.0
Diameter (mm)	101.6	101.6	101.6	101.6			101.6	

Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>): 8107.3

## Set up parameters

Loading function: Haversine	Preload stress: 20 kPa
Cyclic loading stress: 400 kPa	Preload time: 10 s
Seating stress: 5 kPa	Confine axis control: No
Cycle duration: 1000 ms	Confine stress: 100 kPa
Cycle repetition time: 1000 ms	Termination cycle count: 3600
	Termination strain: 100000

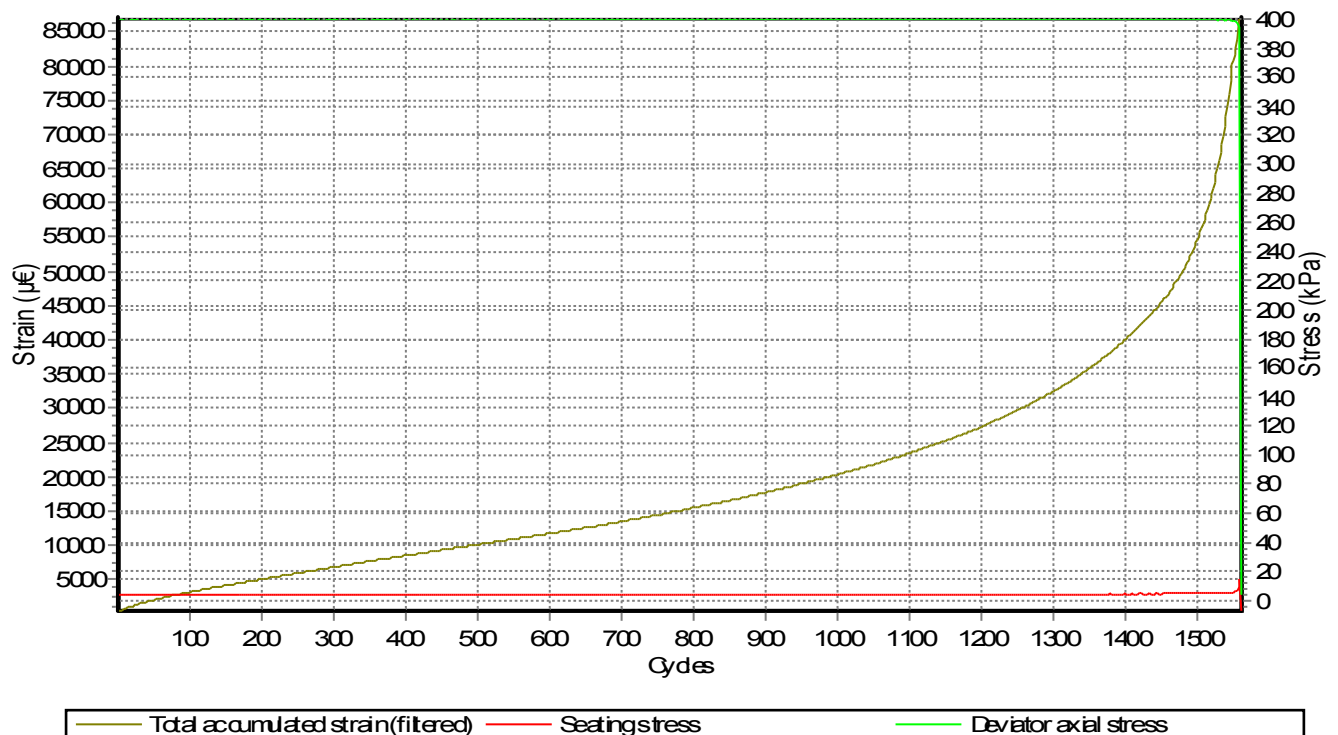
## Test Results

Test date & time: Tuesday, January 1, 2013, at 12:52 AM

Cycle number: 1561

Load (kN)	Stress (kPa)	Permanent deformation (mm)	Strain rate
Contact: -0.058	-7.2	Actuator: 29.103	Current (µε/cyc): 20.640
Peak: -0.025	4.1	LVDT #1: 8.279	Minimum (µε/cyc): 15.700
Deviator: 0.033	11.2	LVDT #2: 8.287	Total strain at minimum (µε): 10378

Temperature (°C)	Accumulated strain (µε)	Cycle number at
Core: 60.3	Actuator: 423316	minimum strain rate: 509
Surface: 60.5	Total: 120480	10000 microstrain: 492
		30000 microstrain: 1256



# Asphalt Permanent Deformation Test

Data file name: C:\UJI 2019\PDD 2019\Wbs ITS\PDD20 60deg C.D014

Test method: AS 2891.12.1-1995: Determination of the permanent compressive strain characteristics of asphalt- Dynamic creep test

Project:

Operator: Arya

Comments: Test method adjusted

## Specimen Information

Identification: PDD20 60degC

Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	67.0	67.5	67.6	67.1	67.3		67.3	0.3
Diameter (mm)	101.6	101.6	101.6	101.6			101.6	

Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>): 8107.3

## Set up parameters

Loading function: Haversine	Preload stress: 20 kPa
Cyclic loading stress: 500 kPa	Preload time: 600 s
Seating stress: 5 kPa	Confine axis control: No
Cycle duration: 1000 ms	Confine stress: 100 kPa
Cycle repetition time: 1000 ms	Termination cycle count: 500000
	Termination strain: 100000

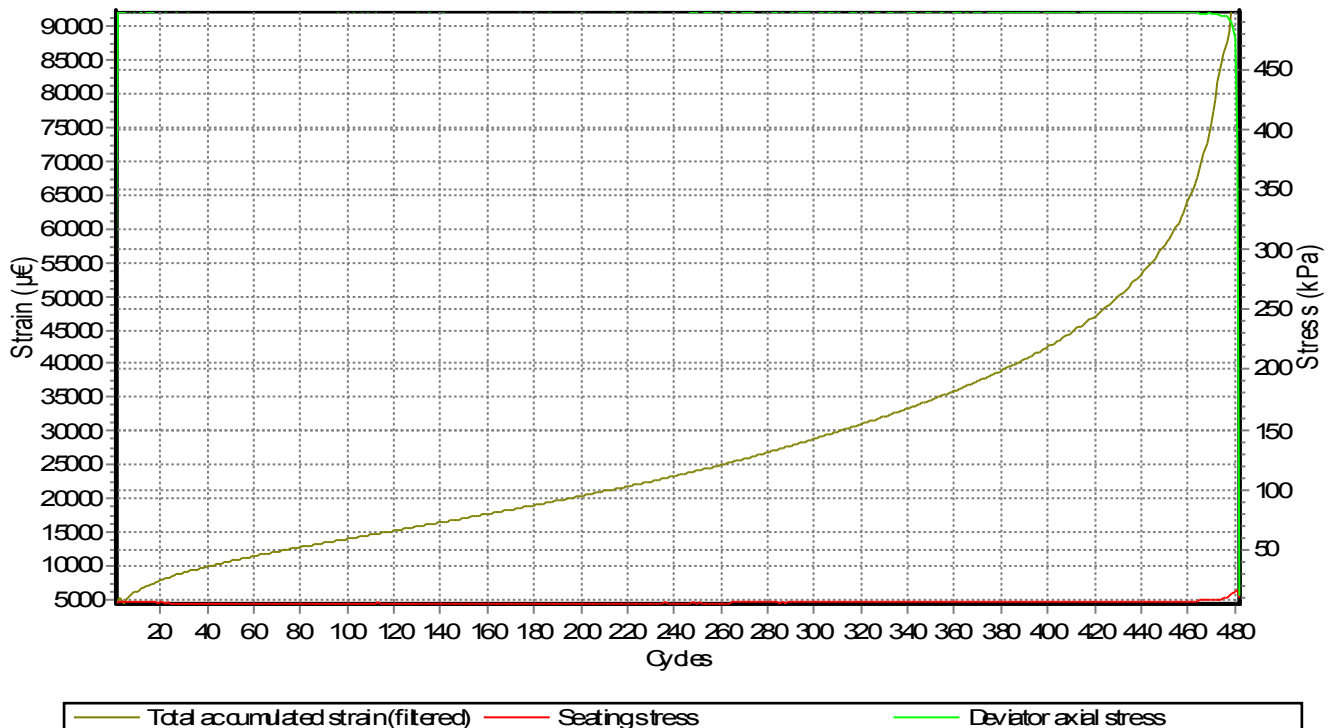
## Test Results

Test date & time: Tuesday, January 1, 2013, at 12:57 AM

Cycle number: 482

Load (kN)	Stress (kPa)	Permanent deformation (mm)	Strain rate
Contact: 0.084	10.4	Actuator: 33.523	Current (µ€/cyc): 8.890
Peak: 0.176	11.3	LVDT #1: 7.858	Minimum (µ€/cyc): 60.040
Deviator: 0.092	1.0	LVDT #2: 8.102	Total strain at minimum (µ€): 15750

Temperature (°C)	Accumulated strain (µ€)	Cycle number at
Core: 60.1	Actuator: 498113	minimum strain rate: 126
Surface: 60.5	Total: 118574	10000 microstrain: 41
		30000 microstrain: 310



# Asphalt Permanent Deformation Test

Data file name: C:\UJI 2019\PDD 2019\WHS ITS\PDD 21 60degC.D014

Test method: AS 2891.12.1-1995: Determination of the permanent compressive strain characteristics of asphalt- Dynamic creep test

Project:

Operator: Arya

Comments: Test method adjusted

## Specimen Information

Identification: PDD 21 60degC

Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66.2	66.2	66.9	66.7	66.5		66.5	0.3
Diameter (mm)	101.6	101.6	101.6	101.6			101.6	

Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>): 8107.3

## Set up parameters

Loading function: Haversine	Preload stress: 20 kPa
Cyclic loading stress: 500 kPa	Preload time: 600 s
Seating stress: 5 kPa	Confine axis control: No
Cycle duration: 1000 ms	Confine stress: 100 kPa
Cycle repetition time: 1000 ms	Termination cycle count: 3600
	Termination strain: 100000

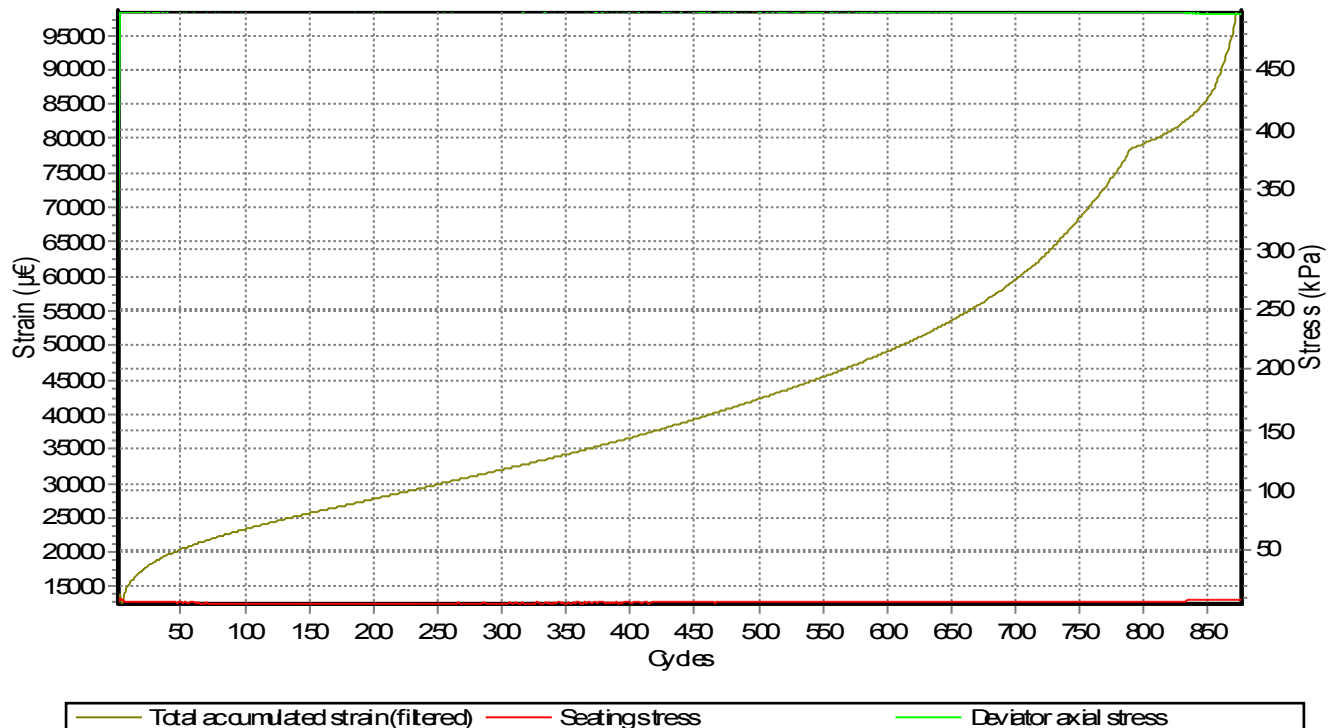
## Test Results

Test date & time: Tuesday, January 1, 2013, at 2:46 AM

Cycle number: 876

Load (kN)	Stress (kPa)	Permanent deformation (mm)	Strain rate
Contact: 0.069	8.5	Actuator: 10.234	Current (µ€/cyc):
Peak: 4.093	496.3	LVDT #1: 7.268	Minimum (µ€/cyc): 40.880
Deviator: 4.024	487.8	LVDT #2: 6.272	Total strain at minimum (µ€): 27534

Temperature (°C)	Accumulated strain (µ€)	Cycle number at
Core: 60.5	Actuator: 153895	minimum strain rate: 193
Surface: 60.7	Total: 101805	10000 microstrain: 2
		30000 microstrain: 254





# Asphalt Permanent Deformation Test

Data file name: C:\UJI 2019\PDD 2019\Mhs ITS\PDD19 60deg C.D014

Test method: AS 2891.12.1-1995: Determination of the permanent compressive strain characteristics of asphalt- Dynamic creep test

Project:

Operator: Arya

Comments: Test method adjusted

## Specimen Information

Identification: PDD19 60degC

Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	67.3	67.0	66.9	67.6	67.2		67.2	0.3
Diameter (mm)	101.6	101.6	101.6	101.6			101.6	

Cross-sectional area (mm<sup>2</sup>): 8107.3

## Set up parameters

Loading function: Haversine	Preload stress: 20 kPa
Cyclic loading stress: 500 kPa	Preload time: 600 s
Seating stress: 5 kPa	Confine axis control: No
Cycle duration: 1000 ms	Confine stress: 100 kPa
Cycle repetition time: 1000 ms	Termination cycle count: 500000
	Termination strain: 100000

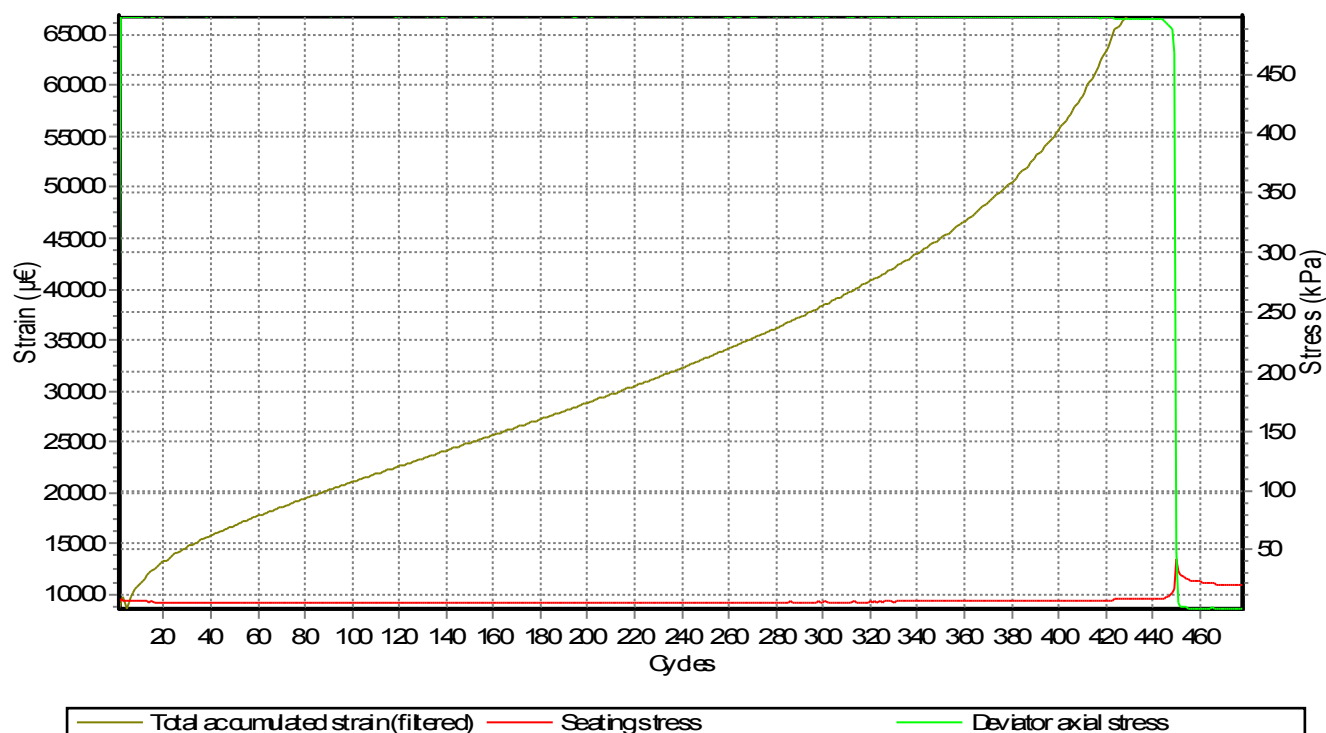
## Test Results

Test date & time: Tuesday, January 1, 2013, at 12:18 AM

Cycle number: 478

Load (kN)	Stress (kPa)	Permanent deformation (mm)	Strain rate
Contact: 0.162	20.0	Actuator: 18.003	Current (µε/cyc):
Peak: 0.167	0.6	LVDT #1: 4.551	Minimum (µε/cyc): 0.000
Deviator: 0.005	-19.4	LVDT #2: 4.443	Total strain at minimum (µε): 66920

Temperature (°C)	Accumulated strain (µε)	Cycle number at
Core: 59.2	Actuator: 267902	minimum strain rate: 456
Surface: 59.4	Total: 66920	10000 microstrain: 7
		30000 microstrain: 214





## BIOGRAFI PENULIS



### **ANWAR EFENDY**

Penulis berasal dari Sumbawa, Nusa Tenggara Barat dan lahir di Jereweh pada tanggal 11 Juli 1995. Merupakan anak Pertama dari Dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Marente Kecamatan Alas tahun 2001, lanjut di SMPN 01 Jereweh Kecamatan Jereweh tahun 2007 dan di SMAN 01 Alas Kecamatan Alas tahun 2010, Kabupaten Sumbawa. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan studi S1 dan diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram pada tahun 2013. Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai asisten dosen di Lab. Mekanika Tanah dan asisten dosen untuk mata kuliah Teknik Jalan Raya. Penulis juga aktif mengikuti pelatihan-pelatihan yang diselenggarakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum. Setelah lulus dari Sarjana strata-1, pada tahun 2017 penulis mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan pendidikan Magister dibidang Manajemen dan Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti seminar umum, kunjungan lapangan dan kuliah tamu mengenai Transportasi dan Perkeretaapian.

Penulis berharap agar Tesis ini dapat memberikan manfaat dan berguna bagi pembaca untuk dijadikan referensi. Apabila ada pembaca yang ingin berdiskusi terkait dengan penelitian ini dapat menghubungi via email dibawah ini. Terimakasih.

***Anwar Efendy***

Civil Engineering Student

Sepuluh Nopember Institut of Technology, Surabaya

[efendy.anwar11@gmail.com](mailto:efendy.anwar11@gmail.com)